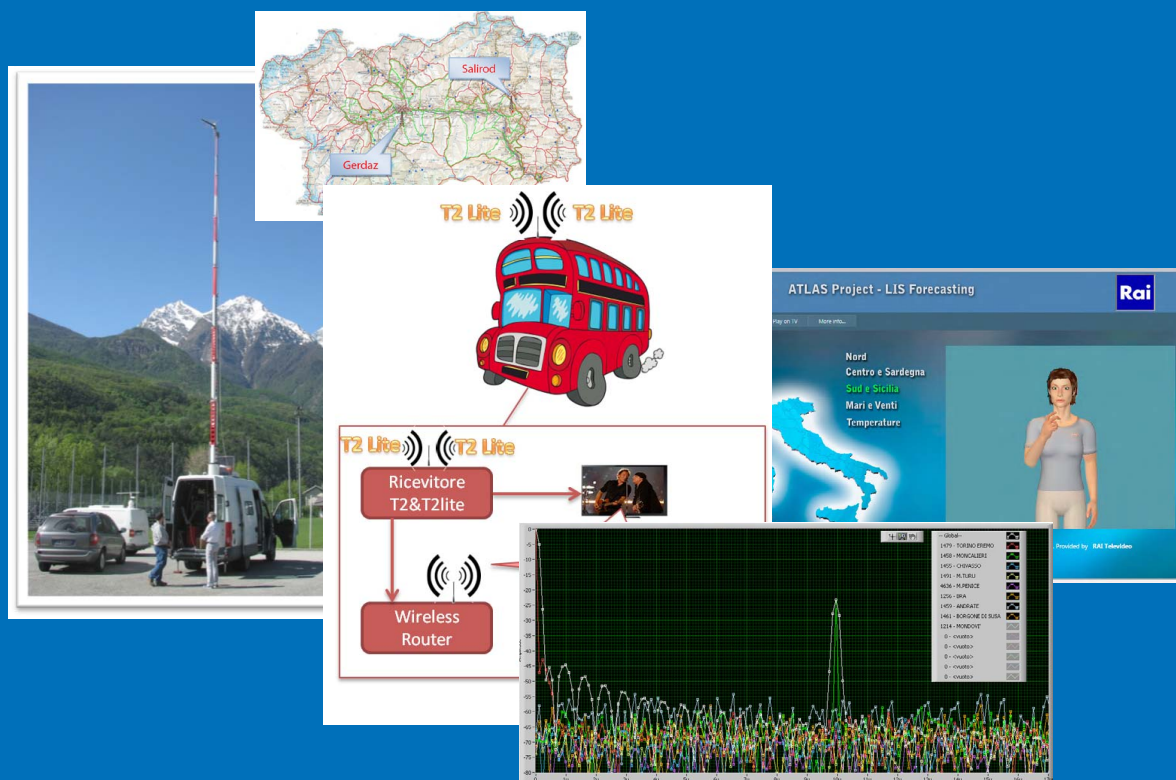
Anno LXII
Numero 3
Dicembre 2013

Elettronica e telecomunicazioni

DVB-T2 Lite:
il nuovo profilo "leggero" del DVB-T2 per la TV mobile

DVB-T2 e DVB-T2 Lite:
la sperimentazione in Valle d'Aosta

SFN-Scope:
sistema evoluto di identificazione dei segnali SFN DVB-T

Per la rubrica "Progetti al CRIT": Progetto ATLAS

La rivista è disponibile su web
alla URL www.crit.rai.it/eletel.htm

Indice

Anno LXII
N° 3
Dicembre 2013

Rivista quadrimestrale a cura della Rai

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Comitato direttivo
Gino Alberico
Marzio Barbero
Mario Cominetti
Giorgio Dimino
Alberto Morello
Mario Stroppiana

Redazione
Marzio Barbero
Gemma Bonino
Roberto Del Pero

Editoriale 5
di Gianfranco Barbieri

DVB-T2 Lite 7
Il nuovo profilo "leggero" del DVB-T2 per la TV mobile
di Vittoria Mignone

DVB-T2 e DVB-T2 Lite 12
La sperimentazione in Valle d'Aosta
di Andrea Bertella, Arturo Gallo, Silvio Ripamonti e Mirto Tabone

SFN-Scope 35
Sistema evoluto di identificazione dei segnali SFN DVB-T
di Bruno Sacco

Rubriche
a cura della Redazione

Progetti al CRIT
Progetto ATLAS 52

Notiziario 54

Editoriale

Gianfranco **Barbieri**
Direttore di
"Elettronica e Telecomunicazioni"

Il sistema DVB-T è oggi il più diffuso standard di trasmissione della TV digitale; dalla sua pubblicazione nel 1997 più di 70 paesi hanno sviluppato servizi che raggiungono vaste fasce di utenza. Nel marzo 2006, per far fronte ai sempre più pressanti problemi di affollamento dell'etere, il Consorzio DVB decise di lanciare lo studio per lo sviluppo di un algoritmo di modulazione avanzato adottabile da uno standard televisivo digitale terrestre di seconda generazione, con il nome di *DVB-T2*. La prima versione del nuovo Standard venne pubblicata nel 2009 (Norma EN 302 756).

Il T2-Lite è un nuovo profilo dello standard DVB-T2, inserito nel 2009 nella specifica, definito per la ricezione con terminali mobili, che nasce per offrire ai broacasters l'opportunità di introdurre servizi di TV mobile a costi contenuti.

Il Centro Ricerche Rai ha condotto un'estensiva campagna di misure in laboratorio allo scopo di valutare le prestazioni del sistema nelle più svariate condizioni operative. Nel corso del 2013 è inoltre stata avviata, in collaborazione con Rai Wai, una sperimentazione in area di servizio per validare le caratteristiche tecniche del sistema.

I primi due articoli di questo numero offrono al lettore un'ampia descrizione delle caratteristiche del sistema evidenziandone le peculiarità rispetto al sistema base DVB-T2 e riportando i risultati di una campagna di misure effettuate , in un primo tempo, in laboratorio utilizzando i prototipi disponibili e, in seconda battuta, in area di servizio, in Valle d'Aosta utilizzando i centri trasmittenti di Aosta-Gerdaz e di Saint Vincent-Salirod mediante trasmissione sul canale UHF 53.

Nella nostra rivista sono stati pubblicati più volte articoli nei quali si è trattata la tecnica SFN (Single Frequency Network); come è noto, a differenza delle reti analogiche, la soluzione SFN consente di realizzare una rete di trasmissione in cui una molteplicità di trasmettitori inviano lo stesso segnale su un'unica frequenza, conseguendo una più efficiente utilizzazione dello spettro. In generale, il ricevitore può essere disturbato dall'arrivo contemporaneo del segnale proveniente da più sorgenti; tuttavia, in tecnica digitale e sincronizzando adeguatamente il flusso dei dati distribuiti alla rete, grazie all'OFDM è possibile rendere "costruttiva" l'interferenza. In fase di monitoraggio del funzionamento della rete nasce tuttavia il problema di poter identificare in qualsiasi punto dell'area di servizio da quale trasmettitore proviene una determinata componente del segnale. La norma DVB-T offre la possibilità di etichettare il segnale di ogni trasmettitore utilizzando il parametro "Cell_id", previsto come identificatore di "cella" nello Standard DVB-H; l'individuazione manuale di ogni singolo trasmettitore risulta piuttosto laboriosa, in particolare nelle aree di copertura in cui la densità di trasmettori è alquanto elevata.

Il terzo articolo di questo numero descrive un sistema innovativo, ideato e brevettato dal Centro Ricerche RAI, per estrarre tutti gli identificativi dei

trasmettitori che contribuiscono a comporre il segnale ricevuto. Il Ministero dello Sviluppo Economico, interessato all'identificazione selettiva dei trasmettitori DVB-T, ha recentemente emanato una circolare che chiede a tutti i soggetti interessati di utilizzare il Cell_id.

Informiamo i nostri lettori che a partire da questo numero vengono istituite due nuove rubriche: con la prima viene aperto uno spazio per illustrare i principali progetti in corso di studio presso il Centro Ricerche RAI, nella seconda si intende fornire una panoramica degli eventi nazionali ed internazionali che vedono impegnati in primo piano i suoi ricercatori.

Acronimi e sigle (a cura della Redazione)	
AVC	Advanced Video Coding
BBFRAME	Base Band Frame
BCH	Bose, Ray-Chauduri, Hocquenghem (codice di)
DVB	Digital Video Broadcasting
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FEF	Future Extension Frame
FFT	Fast Fourier Transform
HEVC	High Efficiency Video Coding
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
LDPC	Low Density Parity Check
LIS	Lingua dei segni italiana
MFN	Multi Frequency Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MPLP	Multiple Physical Layer Pipe
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PDA	Personal Digital Assistant
PLP	Physical Layer Pipe
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QEF	Quasi Error Free
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SFN	Single Frequency Network
TDM	Time-Division Multiplexing
TOV	Threshold Of Visibility
TPS	Transmission Parameters Signalling
TS	Transport Stream
UHF	Ultra High Frequency

DVB-T2 Lite:

il nuovo profilo "leggero" del DVB-T2 per la TV mobile

Vittoria **Mignone**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Il T2-Lite è un nuovo profilo dello standard DVB-T2 terrestre, definito per la ricezione con terminali mobili, che nasce per offrire ai broadcaster l'opportunità di introdurre servizi di TV mobile a costi contenuti.

Il T2-Lite è basato su un limitato sottoinsieme dei modi del profilo T2-Base, che permettono di realizzare ricevitori molto più semplici ed efficienti per applicazioni a bassa capacità, come la trasmissione verso terminali mobili. In particolare, sono escluse le configurazioni FFT 1K e 32K, la costellazione 256 QAM ruotata, la codifica FEC su blocchi lunghi. Inoltre la memoria dell'interallacciatore è ridotta a circa la metà rispetto al T2-Base ed il bit rate massimo per servizio è fissato a 4 Mbit/s. In più, per migliorare la ricezione in mobilità, il T2-Lite prevede due nuovi rate del codice correttore d'errore FEC: 1/3 e 2/5.

Il sistema risultante comporta una complessità del ricevitore ridotta di circa il 50% rispetto ai normali ricevitori DVB-T2, con la possibilità di realizzare notevoli risparmi in termini di consumo di batteria.

1. Introduzione

Il sistema DVB-T2 [1], [2], lo standard di seconda generazione per la diffusione televisiva terrestre nato nel 2008, aveva come obiettivo principale la ricezione fissa di televisione ad alta definizione. Si consideravano dunque configurazioni ad elevata capacità, e, grazie all'utilizzo di sistemi di modulazione e codifica di nuova generazione, riusciva a migliorare anche del 50% la capacità del sistema di prima generazione DVB-T. Per essere flessibile e adattabile alle più diverse applicazioni, il sistema DVB-T2 conteneva già nella sua prima versione anche una serie di configurazioni che lo rendono applicabile anche alla ricezione portatile e mobile.

E' stato quindi molto semplice definire un nuovo profilo per la ricezione mobile, che ritaglia tra i parametri di configurazione del DVB-T2 quelli propri della ricezione mobile, con l'obiettivo di ridurre la complessità dei ricevitori mobili.

2. Il DVB-T2

Come già lo standard di prima generazione DVB-T, il DVB-T2 è basato sulla tecnica di modulazione multi portante OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) con intervallo di guardia [3], che garantisce elevate prestazioni sui canali terrestri, carat-

terizzati da propagazione affetta da echi dovuti alle costruzioni ed agli ostacoli naturali dell'ambiente. Per offrire maggiore flessibilità di scelta di configurazione del sistema, in relazione alle caratteristiche della rete di trasmissione, e garantire un'efficienza trasmissiva significativamente più elevata rispetto al DVB-T, con l'obiettivo di migliorare le prestazioni in configurazioni di rete a frequenza singola (Single Frequency Network, SFN), il sistema DVB-T2 estende le possibili dimensioni di FFT rispetto al DVB-T, da 1K a 32K punti, e, congiuntamente, incrementa i possibili valori degli intervalli di guardia, da 1/128 a 1/4, a seconda della configurazione FFT.

La codifica di canale viene migliorata grazie all'adozione della tecnica di suddivisione dei dati in trame di banda base (baseband frame) e la codifica di canale (FEC, Forward Error Correction) già adottate dal sistema diffusione satellitare di seconda generazione DVB-S2 [4], [5], basate sull'utilizzo di codici LDPC (Low Density Parity Check) e BCH (Bose, Ray-Chauduri, Hocquenghem), consente una riduzione del rapporto segnale rumore richiesto per ricezione QEF (Quasi Error Free) di circa 2 dB. Così come per il DVB-S2, sono previsti due formati del blocco FEC (FECFrame), 64800 bit (blocco normale) e 16200 bit (blocco corto). Il guadagno offerto dal codice viene utilizzato per aggiungere alle costellazioni già adottate dal DVB-T, 4-, 16-, 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), la 256-QAM, incrementando la capacità trasmissiva del sistema. Si introduce anche la tecnica di rotazione delle costellazioni, per consentire di migliorare ulteriormente le prestazioni del sistema in canali terrestri particolarmente critici.

Per fronteggiare meglio i diversi tipi di degradamento del segnale sul canale terrestre, il DVB-T2 introduce quattro livelli di interallacciamento dell'informazione (Bit, Cella, Tempo e Frequenza). L'interleaving temporale garantisce la possibilità di interallacciare almeno 70 ms per i servizi a rate più elevati, con l'opzione di poter estendere tale valore senza necessità di incrementare la memoria del ricevitore. Ciò consente di ottenere una maggiore immunità a disturbi di tipo impulsivo e può consentire una migliore ricezione in condizioni di mobilità a velocità elevate.

Per proteggere in modo differenziato servizi differenti, trasportati da un unico canale fisico, si introduce il concetto di Physical Layer Pipes (PLPs), canali logici che adottano FEC ed Interleaving indipendenti, consentendo così di adattare le caratteristiche di robustezza della codifica ai requisiti del particolare servizio convogliato. Ciò consente inoltre il "Time slicing" ossia la suddivisione del tempo in brani da associare ai diversi servizi, consentendo un risparmio energetico nel ricevitore, che può rimanere acceso solo negli intervalli temporali in cui è presente il servizio di interesse.

La trama DVB-T2 (Frame) è estremamente flessibile, e i dati possono essere distribuiti sull'intero Frame per avere la massima diversità temporale oppure concentrati in burst per consentire il massimo risparmio energetico nel ricevitore. Inoltre è presente un'efficiente segnalazione di livello fisico per trasferire i parametri di trasmissione al ricevitore: il primo simbolo del Frame P1 serve per una rivelazione rapida della presenza del segnale DVB-T2 e la sincronizzazione della trama; i successivi simboli P2 trasportano informazioni dettagliate sulla struttura della trama (segnalazione L1) e informazioni di tipo PSI/SI.

Così come il DVB-T, anche il DVB-T2 utilizza segnali pilota nel dominio della frequenza (portanti pilota) da utilizzarsi al ricevitore per la sincronizzazione e la stima del canale radio (segnali pilota di tipo scattered e di tipo continuo); per poter ridurre la perdita di efficienza del sistema dovuta a questi segnali pilota, il numero di possibili configurazioni è aumentato rispetto al DVB-T e ogni configurazione è adattata al particolare ambiente trasmissivo. In particolare, mentre nel DVB-T vi era un'unica configurazione di portanti pilota scattered, con densità in frequenza pari a 1/12 (8%), il DVB-T2 offre 8 possibili configurazioni, PP1-PP8, con perdite di efficienza variabili dall'8% all'1%.

Il DVB-T2 introduce inoltre due distinti meccanismi, basati l'uno sulla tecnica "tone reservation" e l'altro sulla "constellation distortion", per ridurre il rapporto tra potenza di picco e potenza media del segnale trasmesso (PAPR, Peak to Average Power Ratio) e consentire un migliore utilizzo della potenza dei trasmettitori.

Per garantire un miglior sfruttamento della potenza in trasmissione e ottimizzare la copertura dell'area di servizio, è prevista anche una modalità di funzionamento opzionale che prevede una trasmissione con antenne multiple (MIMO), basata sulla tecnica di Alamouti. Quest'ultima consiste nella trasmissione dell'informazione verso due trasmettitori, codificata in modo diverso per ognuno di essi in modo tale da permetterne la ricostruzione al ricevitore anche in caso di ricezione di un solo contributo. La configurazione MIMO è utilizzabile sia in configurazioni con antenne trasmittenti co-locate, sia in reti SFN distribuite.

Infine, per permettere in futuro l'introduzione nel sistema di ulteriori tecniche preservandone la compatibilità all'indietro, sono definiti i cosiddetti Future Extension Frame (FEF), identificati dal primo simbolo P1, di cui è definita solo la durata e che il ricevitore DVB-T2 identifica come tali e scarta. Proprio la definizione dei FEF ha permesso la realizzazione del profilo T2-Lite così come descritto nel prossimo paragrafo.

3. Il profilo T2 Lite

Il sistema DVB-T2, per poter coprire ambiti così disparati, dalla ricezione fissa di HDTV a quella portatile e mobile, a prestazioni elevatissime, richiede ricevitori di notevole complessità, idonei per la ricezione fissa, ma non ottimali per la ricezione mobile con dispositivi di dimensioni ridotte. Sulla base di tali considerazioni, il gruppo DVB-T2 nel luglio 2011 ha definito un profilo del DVB-T2 specificatamente per la ricezione mobile, il T2-Lite. Questo è inserito nella versione 1.3.1 dello standard DVB-T2.

Il T2-Lite è basato su un limitato sottoinsieme di modi del profilo T2-Base, il che permette di realizzare ricevitori molto più semplici ed efficienti per applicazioni a bassa capacità come la trasmissione verso terminali mobili. In particolare, sono escluse le configurazioni FFT 1K e 32K, quest'ultima in particolare perché caratterizzata da simboli con durata di circa 4ms, troppo lunghi per una trasmissione su canale mobile. Sono inoltre escluse la costellazione 256 QAM ruotata, perché richiede rapporti segnale rumore troppo elevati per il canale mobile, e la codifica FEC su blocchi lunghi, che, benché consenta prestazioni migliori di qualche decimo di dB ripetto ai blocchi FEC corti, comporta complessità al ricevitore elevate. Inoltre la memoria dell'interallacciatore è ridotta a circa la metà rispetto al T2-Base ed il bit rate massimo per servizio è fissato a 4 Mbit/s. Ne risulta un sistema con complessità del ricevitore ridotta di circa il 50% rispetto ai normali ricevitori DVB-T2, con la possibilità, inoltre, di realizzare notevoli risparmi di consumo di batteria. In più, per migliorare la ricezione in mobilità, il T2-Lite prevede due nuovi rate del codice correttore d'errore FEC, 1/3 e 2/5, derivati dallo standard DVB-S2 e capaci di funzionare a rapporti segnale rumore molto bassi, prossimi allo zero, e quindi adatti ai casi più critici di canale mobile.

Il T2-Lite introduce anche una maggiore flessibilità di configurazione del multiplex, tale da permettere un'ottimizzazione separata delle componenti dedicate ai servizi verso terminali fissi e a quelle verso i terminali mobili. Già il DVB-T2 permetteva, mediante l'uso dei PLP, di ottimizzare i parametri di trasmissione in funzione dei requisiti del singolo servizio. Era così possibile scegliere modulazione e codifica, memoria di interleaving, in modo ottimizzato per ogni PLP, ma i parametri dell'OFDM dovevano rimanere

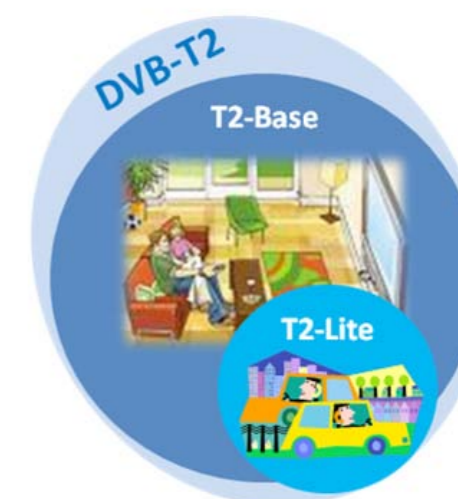
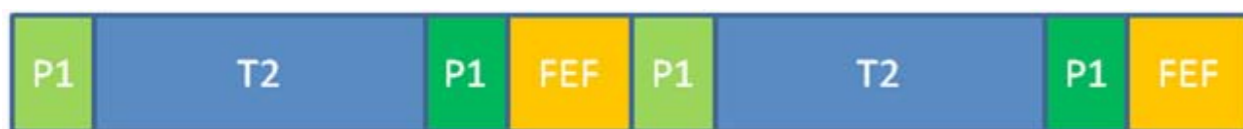



Fig. 1 - Coesistenza di trame fisiche T2 e trame fisiche FEF nel DVB-T2

Fig. 2 - Introduzione delle trame fisiche T2-Lite come FEF del T2-Base

Parametro di Configurazione	T2-Lite
Dimensione del blocco FEC LDPC	Solo 16k
Code rate	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 2/5,1/3
Costellazione	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (fino al rate 3/5)
Costellazioni ruotate	Solo per QPSK, 16QAM e 64QAM
Intervallo di guardia	Limitato numero di configurazioni
Dimensione FFT	2K, 4K, 8K, 16K, 16K estesa
Portanti pilota Scattered	No PP8
Massimo bit rate del servizio	4 Mbit/s
Segnalazione P1	Nuova configurazione T2-Lite SISO/MISO
L1 Scrambling	Scrambling opzionale del signaling L1-post o L1

Tab. 1 - Sottoset di parametri DVB-T2 del profilo T2-Lite

uguali per tutti i frame T2. Con la nuova versione dello standard DVB-T2 è ora possibile usufruire di dimensione FFT e intervallo di guardia diversi per ogni servizio o gruppo di servizi. Tutto ciò è stato realizzato mediante l'utilizzo dei cosiddetti FEF (Future Extension Frames) del DVB-T2, porzioni della trama di segnale DVB-T2 specificatamente definite per consentire estensioni future dello standard. Il T2-Lite introduce la definizione di FEF di tipo T2 (figura 1), ossia permette di scindere la trama di segnale T2 in due sottotrame, l'una compatibile con lo standard T2-base, l'altra T2-Lite, ed avere lunghezza FFT ottimizzata per i due tipi di servizi, ad esempio 32K per la TV fissa e 8K per quella mobile (figura 2). In questo caso, il ricevitore fisso ignora i FEF T2-Lite e riceve i FEF T2-Base, viceversa il ricevitore mobile.

Con l'introduzione sul mercato dei nuovi ricevitori T2, che implementeranno la funzionalità T2-Lite, i broadcaster potranno così lanciare servizi verso terminali mobili, eventualmente ricevibili anche dai convenzionali ricevitori stazionari. Tutto ciò con limitati costi di rete, in quanto il T2-Lite potrà essere combinato con il T2 sulle reti esistenti. Non sarà dunque necessario realizzare reti separate per i servizi mobili, e questo potrà incoraggiare il lancio graduale di nuovi servizi mobili in base alla domanda di mercato.

In tabella 1 vengono elencati i valori ammessi per i parametri di configurazione relativi al profilo T2-Lite mentre in tabella 2 è mostrata una tipica configurazione operativa relativa ad un multiplex T2/T2-Lite.

	T2-Base	T2-Lite
FFT	32K	8K
Intervallo di guardia	1/128	1/32
Modulazione	256QAM	QPSK
Code Rate	2/3	1/2
Bit rate	30,8 Mbit/s	1,5 Mbit/s

Tab. 2 - Configurazione operativa tipica per un Multiplex T2-Base/T2-Lite

La prima sperimentazione del T2-Lite è stata effettuata già nel Luglio 2011 da BBC a Londra [6] e all'IBC di Amsterdam dello stesso anno. Nel dicembre dello stesso anno anche Rai CRIT ha iniziato i test del T2-Lite, con le verifiche in laboratorio dei primi prototipi e alcuni test in campo nell'area di Torino con un bouquet costituito da sei programmi: due programmi HDTV ed uno 3DTV per l'utenza fissa e tre programmi dedicati ai terminali mobili.

Nel 2013 Rai-CRIT ha avviato una campagna di sperimentazione estensiva del T2-Lite, così come descritto più avanti in questo stesso numero [7].

4. Conclusioni

Il T2-Lite nasce per offrire ai broacaster l'opportunità di introdurre servizi di TV mobile a costi contenuti, allo stesso modo semplificando la tecnologia del sistema, riducendo la complessità ed il consumo dei dispositivi di ricezione, pur mantenendo ottime prestazioni e flessibilità di configurazione, nell'ottica di avere una rapida introduzione sul mercato dei terminali d'utente.

Bibliografia

[1] ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04), *Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*

[2] V. Mignone, A. Morello, G. Russo, P. Talone, *DVB-T2, la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVII, Numero 3, Dicembre 2008, pp 14-44

[3] V. Mignone, *La modulazione COFDM*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LIV, Numero 3, Dicembre 2005, pp 43-48

[4] ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), *Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*

[5] A. Morello, V. Mignone, *Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LII, Numero 3, Dicembre 2003, pp 5-28

[6] K. Greene, *DVB-T2-Lite profile tech standard approved: Transmissions are go!*, BBC Research & Development Blog

[7] A. Bertella, A. Gallo, S. Ripamonti, M. Tabone , *DVB-T2 e DVB-T2 Lite: la sperimentazione in Valle d'Aosta*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", questo stesso numero, pp 12-34

DVB-T2 e DVB-T2 Lite:

la sperimentazione in Valle d'Aosta

Andrea **Bertella,** Arturo **Gallo,** Silvio **Ripamonti,** Mirto **Tabone**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Il DVB-T2 Lite è stato introdotto nel luglio 2011 per supportare la ricezione mobile e portatile e per ridurre i costi d'implementazione della rete.

Il profilo Lite, il primo che utilizza i cosiddetti FEF (Future Extension Frame), ha una complessità del 50% inferiore rispetto al DVB-T2.

Il T2-Lite può essere combinato insieme con il T2 base sulle reti esistenti evitando così di realizzare nuove reti dedicate esclusivamente ai servizi mobili.

Rai CRIT ha condotto un'estensiva campagna di misure in laboratorio allo scopo di valutare le prestazioni del T2 Lite nelle più svariate condizioni operative. I risultati dei test, nonostante le prove siano state condotte sui primi prototipi disponibili, sono in linea con quanto previsto dalle simulazioni al computer su tutte le tipologie di canale trasmissivo utilizzate. Nel presente articolo sono sinteticamente riportati i risultati principali ottenuti in laboratorio, in particolare quelli inerenti alle prove su canale mobile.

Nel corso del 2013 il Centro Ricerche Rai, con la collaborazione di Rai Way, ha avviato una sperimentazione in area di servizio per validare le caratteristiche tecniche del sistema, valutare la copertura in mobilità in funzione del livello di campo disponibile e fare esperienza sulla realizzazione di una piccola rete a singola frequenza con le problematiche a essa collegata (sincronizzazione dei trasmettitori, valutazione delle aree di sovrapposizione delle coperture, ritardi statici inseriti per evitare zone d'interferenza ecc.).

La sperimentazione, i cui risultati sono riportati in quest'articolo, si è svolta in Valle d'Aosta utilizzando i centri trasmittenti di Aosta-Gerdaz e di Saint Vincent-Salirod mediante trasmissione sul canale UHF 53.

1. Introduzione

"La televisione mobile è la televisione ricevibile attraverso dispositivi palmari (telefonini, smartphone, PDA, ecc.) quindi destinata a una fruizione in mobilità" , questa è la definizione di TV mobile che è riportata su Wikipedia[1]. Proseguendo nella lettura si scopre che la storia della TV mobile è molto legata all'avvento delle tecnologie di diffusione digitali ma che in realtà l'argomento ha sempre suscitato un grande interesse anche ai tempi della TV analogica. Con la TV analogica, non si poteva certo ambire ad avere un segnale pulito e perfetto e quindi ci si concentrava soprattutto sulla miniaturizzazione dell'apparato ricevente. Insomma ci si "accontentava" di poter riporre in tasca un dispositivo atto a ricevere un segnale televisivo, anche se, mettendosi in movimento, i risultati erano abbastanza sconfortanti.

Dal 1977, quando uscì la "prima" TV mobile, ad oggi, di anni ne sono passati oltre trentacinque ma non possiamo ancora dire di aver raggiunto il risultato sperato. Eppure di standard per la TV mobile ne sono nati (e morti) parecchi. Sempre Wikipedia ci aiuta a ricordarli tutti [2]; qui ci limitiamo a richiamare quello che per un po' di tempo, almeno in Europa, sembrava poter avere un certo successo: il DVB-H [3] [4].

Come Centro Ricerche Rai il DVB-H venne a lungo testato e il culmine della sperimentazione fu raggiunto durante le Olimpiadi Invernali di Torino del 2006 quando, dal centro trasmittente di Torino Eremo e da alcuni impianti della Valle di Susa, si mise in onda un particolare segnale DVB-T che utilizzava la modulazione gerarchica [5] [6]. Nella parte a bassa priorità, quella ricevibile con l'antenna fissa sul tetto, si trasmetteva il segnale AVC in alta definizione del canale olimpico Rai (era la prima trasmissione al mondo su digitale terrestre con questa codifica); in quella ad alta priorità si trasmetteva lo stesso programma a basso bit rate con una modulazione DVB-H molto robusta (QPSK) adatta a essere ricevuta in movimento. Per ricevere il segnale mobile si utilizzarono dei telefoni Nokia (N93) dotati di tuner e chip di demodulazione DVB-H. modulazione gerarchica [5] [6]. Nella parte a bassa priorità, quella ricevibile con l'antenna fissa sul tetto, si trasmetteva il segnale AVC in alta definizione del canale olimpico Rai (era la prima trasmissione al mondo su digitale terrestre con questa codifica); in quella ad alta priorità si trasmetteva lo stesso programma a basso bit rate con una modulazione DVB-H molto robusta (QPSK) adatta a essere ricevuta in movimento. Per ricevere il segnale mobile si utilizzarono dei telefoni Nokia (N93) dotati di tuner e chip di demodulazione DVB-H. Il risultato fu per certi versi stupefacente ma, nonostante ciò, dopo un periodo in cui alcuni operatori telefonici lanciarono il servizio commerciale, il DVB-H venne abbandonato e la TV mobile continuò a rimanere solo un oggetto di discussione sui tavoli dei tecnici.

Fra i motivi che portarono al fallimento del DVB-H c'è sicuramente il problema legato ai costi di realizzazione della rete. Vero è infatti, come abbiamo sperimentato nel 2006, che il DVB-H poteva essere inserito in una trasmissione DVB-T sfruttando le modulazioni gerarchiche, ma questo tipo di modalità penalizzava la ricezione DVB-T e non permetteva di sfruttare al massimo le caratteristiche del DVB-H (ad esempio l'utilizzo della modalità 4k, buon compromesso per migliorare le prestazioni in presenza di effetto Doppler senza restringere eccessivamente l'intervallo di guardia). Di conseguenza l'utilizzo di una frequenza e di una rete dedicata alla TV mobile diventava una strada obbligata, con i problemi di sostenibilità economica e con le difficoltà di reperire le risorse di frequenza necessarie che questa scelta comportava. Inoltre, proprio negli anni a cavallo delle Olimpiadi 2006, stavano nascendo gli standard satellite e terrestre di seconda generazione che rappresentavano un notevole passo in avanti in termini di prestazioni rispetto alla prima generazione e aprivano nuovi ed interessanti scenari anche per la TV mobile.

2. DVB-T2: perché un nuovo standard per il digitale terrestre

Il DVB-T2 [7] è nato in ambito DVB nel 2008 sulla scia del successo dello standard di diffusione satellitare DVB-S2, con l'obiettivo di portare all'utente i servizi in Alta Definizione con un uso ottimizzato della risorsa spettrale.

L'esigenza che ha portato alla realizzazione di questo nuovo standard è da cercare principalmente nella possibilità di incrementare la capacità trasmissiva di almeno il 30% sfruttando al massimo lo sviluppo nell'ambito della microelettronica che, dalla nascita del DVB-T nel 1997 all'introduzione del DVB-T2 nel 2008, ha fatto, in quanto a complessità, un salto di un fattore 100. Questo impressionante miglioramento tecnologico ha permesso di impiegare "strumenti" molto più potenti rispetto a quelli adottati nel DVB-T, tanto che il DVB-T2 ha prestazioni vicine all'ottimo teorico. A questo punto un ulteriore passo, un ipotetico DVB-T3, è difficilmente immaginabile, se non a costo di un'esplosione della complessità a fronte di un miglioramento delle prestazioni estremamente ridotto.

Il DVB-T2 , rispetto al DVB-T, offre tangibili vantaggi in termini di incremento di capacità trasmissiva a parità di banda occupata (+50%), oppure di copertura del territorio a parità di potenza emessa.

Lo standard DVB-T2 è già stato ampiamente trattato in Elettronica & Telecomunicazioni [8] [9] e quindi qui di seguito ci limiteremo a richiamare solo gli aspetti salienti.

La tecnica di suddivisione dei dati in trame di banda base (BBFRAME) e la codifica di canale (FEC) sono le stesse del sistema di seconda generazione satellitare DVB-S2.

DVB-T2 vs DVB-T		
	DVB-T2	DVB-T
FEC	LDPC + BCH	Viterbi + RS
Code rate	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Costellazioni	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Intervallo di guardia	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
FFT	1K, 2K, 4K, 8K, 8K ext., 16K, 16K ext., 32K, 32K ext.	2K, 8K
Pilota Scattered	1%, 2%, 4%, 8% del totale	8% del totale
Pilota Continual	0,35% del totale	2,6% del totale
Larghezza di banda	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz	5, 6, 7, 8 MHz
Bit rate max	50,34 Mb/s	31,66 Mb/s

Tab. 1 - DVB-T2 e DVB-T a confronto

Il codice FEC è basato sulla concatenazione tra codici LDPC (Low Density Parity Check) e BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem), tecnica che fornisce prestazioni eccellenti.

Le costellazioni sono derivate dal DVB-T (QPSK, 16QAM, 64QAM), con estensione alla 256QAM e introduzione della tecnica delle costellazioni ruotate, per migliorare significativamente le prestazioni del sistema in canali terrestri particolarmente critici.

La tecnica base di modulazione è multi portante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con intervallo di guardia, analoga al DVB-T, che garantisce un sistema di trasmissione affidabile su canali terrestri. Il DVB-T2 aumenta la scelta sulla dimensione della FFT (Fast Fourier Trasform), da 1K (circa 1000) a 32K (circa 32000) portanti (il DVB-T offre due modi soltanto, 2K e 8K), e congiuntamente sono incrementati i possibili valori degli intervalli di guardia. Tutto ciò per offrire maggiore flessibilità di scelta di configurazione del sistema, in relazione alle caratteristiche della rete di trasmissione, e garantire un'efficienza trasmissiva significativamente più elevata rispetto al DVB-T.

Il DVB-T2 amplia, rispetto al DVB-T, i possibili segnali per la sincronizzazione e la stima del canale RF che possono essere scelti sulla base del particolare ambiente trasmissivo (8 possibili configurazioni di dispersione di celle pilota che possono portare ad un aumento della capacità trasmissiva rispetto al DVB-T fino all'8%).

Per fronteggiare meglio i diversi tipi di degradamento del segnale sul canale terrestre, il DVB-T2 introduce quattro livelli di interallacciamento dell'informazione (Bit, Cella, Tempo e Frequenza). L'interleaving temporale offre una profondità di interlacciamento di almeno 70 ms per i servizi a rate più elevati, con l'opzione di poter estendere tale valore senza necessità di incrementare la memoria del ricevitore. Ciò consente di ottenere una maggiore immunità a disturbi di tipo impulsivo e può consentire una migliore ricezione in condizioni di mobilità a velocità elevate.

Il DVB-T2 può trasportare flussi di ingresso singoli o multipli, di tipo Transport Stream o Generico (ad es. IP), ed ogni flusso (PLP, Physical Layer Pipe) può essere protetto (FEC e interleaving) in modo differente contro il rumore e le interferenze. Ciò consente di trasportare servizi dedicati a terminali riceventi di tipo diverso, contemporaneamente, in modo ottimale per ciascuno, e di introdurre il "Time Slicing" nello strato fisico, per un risparmio energetico nel ricevitore, che può rimanere acceso solo negli intervalli temporali in cui è presente il servizio di interesse. Nel DVB-T il Time Slicing non è presente, ed è stato introdotto nel DVB-H negli strati superiori, per poter consentire un risparmio di batteria nei terminali d'utente.

Ulteriore sostanziale novità del DVB-T2 è la possibilità di trasmissione con antenne multiple, basata sulla tecnica di Alamouti, che consente di migliorare la ricezione grazie alla diversità spaziale offerta dai due trasmettitori. Inoltre, per ridurre il rapporto tra potenza di picco e potenza media del segnale trasmesso (PAPR), tipicamente molto elevato per segnali di tipo OFDM, il DVB-T2 offre due meccanismi (basati l'uno sulla tecnica "Tone Reservation" e l'altro sulla "Active Constellation Extension"), per migliorare lo sfruttamento della potenza dei trasmettitori.

Infine, per poter essere "future proof" il DVB-T2 offre meccanismi (FEF, Future Enxtension Frame) per permettere in futuro l'introduzione nel sistema di ulteriori tecniche (ad esempio TFS, Time Frequency Slicing), preservandone la compatibilità all'indietro. Si tratta di una sorta di "buco" nel dominio del tempo entro il quale possono essere inseriti altri segnali. Vedremo in seguito che proprio questa caratteristica è stata utilizzata per trasmettere segnali adatti alla ricezione mobile all'interno di un flusso DVB-T2 utilizzato per la trasmissione di contenuti ad alta definizione verso l'utenza fissa.

L'incremento di capacità trasmissiva si può quantificare in quasi il 50% per una rete MFN e fino al 70% per una rete SFN; in prospettiva, con l'introduzione e la diffusione della nuova codifica di sorgente HEVC questo vantaggio diventa schiacciante: ne risulta la possibilità di trasportare otto programmi HD in un canale RF.

3. DVB-T2 Lite: un profilo leggero per la ricezione mobile

Il DVB-T2 Lite è, a oggi, il candidato migliore per portare segnali televisivi e radiofonici verso dispositivi mobili come smartphone, tablet PC, PC portatili e per la ricezione in automobile, autobus e treno.

In questo numero di E&T trovate un articolo dedicato in modo specifico al DVB-T2 Lite cui rimandiamo per tutti i dettagli tecnici del nuovo profilo [10]. Qui di seguito ci limitiamo a richiamarne le caratteristiche fondamentali (tabella 2) e a vedere i possibili scenari applicativi.

Il DVB-T2 Lite [7] è stato introdotto nel 2011 ed è stato progettato sulla base delle caratteristiche del DVB-T2. Un'attenta selezione di un sottoinsieme di modalità specifiche per la ricezione mobile permette l'implementazione del T2 Lite utilizzando dei chip molto più piccoli e più efficienti in termini di consumi energetici rispetto a quanto possibile fare con il DVB-T2. E' evidente che per i dispositivi mobili la durata della batteria e la miniaturizzazione dell'elettronica di bordo rappresentano aspetti fondamentali.

DVB-T2 Lite	
FEC block size	LDPC 16k
Code rate	**1/3, 2/5** , 1/2, 3/5, 2/3, 3/4
Costellazioni	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (fino al code rate 3/5)
Rotazione costel.	Solo per QPSK, 16QAM e 64QAM
Intervallo di guardia	Minori possibilità di scelta della FFT, dell'intervallo di guardia e del profilo di portanti pilota
FFT	2K, 4K, 8K, 16K, 16K ext.
Pilota scattered	PP8 non permesso
Max Bit rate	4 Mb/s

Tab. 2 - T2 Lite, caratteristiche fondamentali

Questo nuovo profilo è definito nella versione 1.3.1 della specifica DVB - T2 ([7], Annex I) e, allo scopo di incoraggiare la sua diffusione, è stato progettato in modo da minimizzare i cambiamenti necessari rispetto agli apparati DVB-T2 esistenti.

Nel capitolo precedente abbiamo visto che il DVB-T2 prevede la possibilità di differenziare la protezione dei servizi mediante l'impiego di più PLP (Multiple PLP o MPLP). Tuttavia, se lo scopo è di raggiungere mediante un PLP l'utenza fissa e tramite un altro PLP l'utenza mobile, il sistema non è pienamente efficiente. Infatti, la modalità MPLP permette di differenziare lo schema di modulazione (costellazione e FEC) utilizzato nei diversi PLP, ma non permette di cambiare il numero di portanti. Generalmente per l'utenza fissa si utilizza il numero massimo di portanti (32k) allo scopo di aumentare l'intervallo di guardia disponibile, permettendo così l'assorbimento di echi provenienti da posizioni molto lontane. Questo consente altresì di realizzare reti SFN molto estese con una spaziatura dei trasmettitori piuttosto ampia. Per i ricevitori mobili, invece, è meglio utilizzare un numero di portanti inferiore (ad esempio 8k) poiché il segnale, vista la maggior spaziatura esistente fra una portante e l'altra, è più robusto nei confronti dell'effetto Doppler.

DVB-T2 e DVB-T2 Lite

DVB-T2 e DVB-T2 Lite

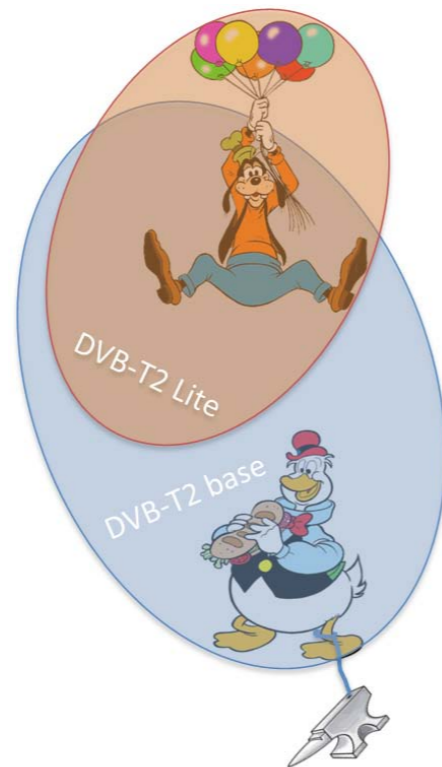
Questo tipo di approccio del DVB-T2 è perfettamente coerente con quelli che erano i requisiti commerciali alla base del nuovo standard terrestre: broadcasting di segnali in alta definizione con ricezione fissa tramite gli attuali impianti con antenna direttiva sul tetto. Allo scopo di sviluppare uno standard il più possibile pronto a recepire nuove esigenze, il DVB-T2, come abbiamo visto, ha introdotto i FEF, spazi "vuoti" nel tempo in cui possono essere inseriti segnali differenti, come ad esempio il T2 Lite.

Per rendere il DVB-T2 Lite meno "vorace" in termini di energia richiesta rispetto al DVB-T2, il nuovo profilo ha eliminato una serie di caratteristiche non utili alla ricezione mobile:

- Eliminazione di FFT 32k e FFT 1k
- Eliminazione della costellazione 256QAM ruotata
- Eliminazione della codifica FEC su blocchi lunghi
- Eliminazione dei FEC 4/5 e 5/6
- Dimezzamento del tempo di Time Interleaving

Allo stesso tempo, per garantire una robustezza maggiore per la ricezione mobile sono stati aggiunti due FEC, 1/3 e 2/5.

Si può dire che il DVB-T2 Lite ha fatto una cura dimagrante e ha rinforzato la muscolatura, diventando così un profilo robusto ma leggero la cui complessità è ridotta del 50% rispetto ai ricevitori DVB-T2.

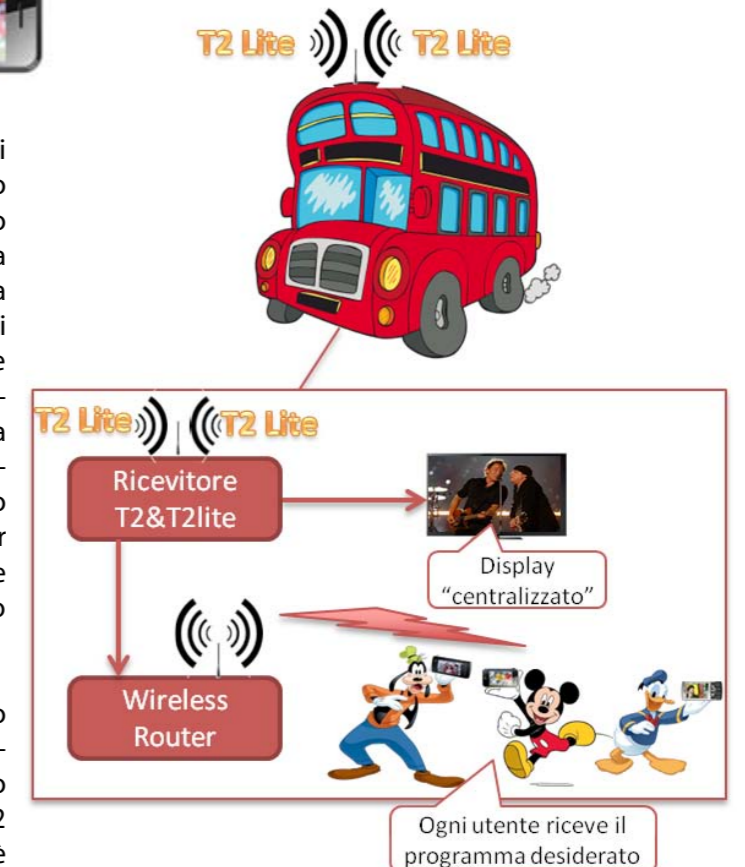
Fig. 1 - T2 Lite, cura dimagrante e rinforzo della muscolatura

Il T2-Lite può essere trasmesso come segnale a sé stante, in un PLP di un flusso DVB-T2 oppure all'interno dei FEF che trasportano un frame T2 dedicato al servizio mobile e può avere parametri di modulazione diversi dagli altri T2 frame (anche FFT e intervallo di guardia!). Quest'ultima rappresenta, a nostro parere, la modalità più interessante per lo sfruttamento del DVB-T2 Lite perché permette di riutilizzare la rete esistente DVB-T2 che sarà impiegata per la diffusione dei programmi in alta definizione verso l'utenza fissa dotata di antenna sul tetto, senza dover fare scelte di compromesso come accadeva invece con il DVB-H.

Allo stato attuale esistono almeno tre costruttori che producono dei chip T2 + T2 Lite (Sony, Dibcom e Altobeam) ma, a quanto ci risulta, non esiste ancora la versione T2 Lite "stand-alone"… Se questa situazione dovesse permanere, manderebbe in frantumi uno dei grossi pregi del T2 Lite, cioè il ridotto consumo di energia.

4. DVB-T2 Lite: possibili scenari

La prima possibilità è quella che tutti noi abbiamo in mente quando parliamo di TV mobile: introdurre all'interno dei dispositivi portatili, come i diffusissimi smartphone, il ricevitore DVB-T2 Lite. Questa è la soluzione più ovvia e pratica anche se può comportare alcune difficoltà. Infatti, i costruttori (e gli operatori telefonici a essi collegati) sembrano abbastanza restii a inserire all'interno dei loro dispositivi un secondo sintonizzatore oltre a quello per la ricezione del segnale di telefonia mobile. Ciò è dovuto sia ad una questione di costi, sia al problema della durata delle batterie anche se, come abbiamo visto, il T2 Lite, mediante il chip appositamente realizzato, cerca in tutti i modi di porre rimedio a questo problema. Esiste inoltre, probabilmente, un criterio squisitamente commerciale: è conveniente per gli operatori telefonici permettere la ricezione mobile di segnali TV senza utilizzare la loro capacità trasmissiva a banda larga?

Una seconda possibilità è legata all'utilizzo di opportuni *dongle* (chiavette USB) che, collegate a dispositivi portatili come tablet PC o Notebook, permettono di ricevere il segnale T2 Lite. In questo caso il consumo delle batterie è un aspetto meno critico e inoltre si svincola il costruttore del dispositivo da quello del ricevitore. Sony e Altobeam sono già in grado di fornire apparati adatti sia a piattaforme Windows sia Android adatte a questo tipo di applicazione.

Esiste anche una terza possibilità in cui la ricezione è fatta a bordo di veicoli in movimento come automobili, autobus e treni. In questo caso si supera completamente il problema del consumo della batteria, rendendo oltretutto ininfluente la realizzazione del chip T2 Lite "stand-alone".

Il segnale video può essere visualizzato su schermi adeguati al tipo di veicolo: nei poggiatesta posteriori per le automobili e su diplay "centralizzati" per autobus e treni. Inoltre si può pensare di ritrasmettere in Wi-Fi all'interno dei veicoli il segnale ricevuto. In questo modo i singoli utenti potranno fruire dei contenuti che preferiscono utilizzando il dispositivo portatile personale (il proprio smartphone ad esempio) che in questo scenario non avrà bisogno del ricevitore T2 Lite ma soltanto di un player tipo VLC.

Vedremo che questa modalità è stata testata con successo durante la sperimentazione in Valle d'Aosta.

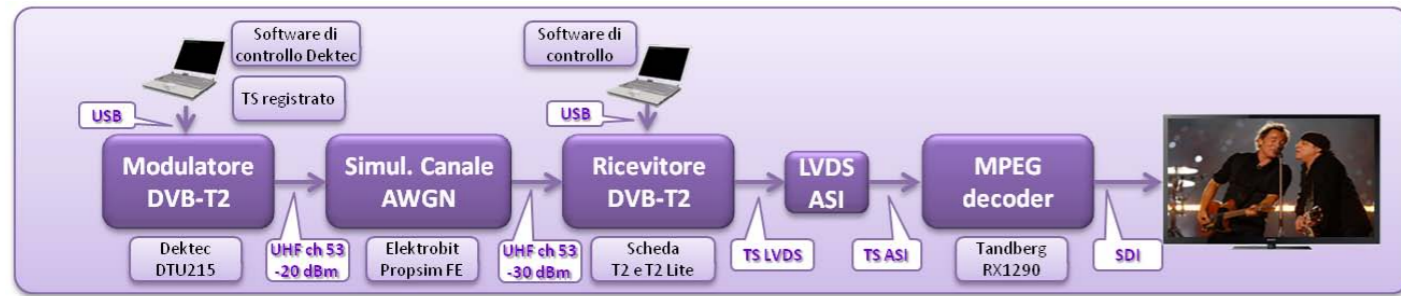



Fig. 2 - Setup di laboratorio

5. DVB-T2 Lite: prove di laboratorio

Prima di passare alla descrizione della sperimentazione su campo del T2 Lite ci sembra doveroso descrivere brevemente i risultati della campagna di misura condotta in laboratorio.

Questo lavoro, propedeutico alle prove in area di servizio, ci ha permesso di toccare con mano le enormi potenzialità del sistema e soprattutto di capire come la tecnologia sia già matura per una sua reale introduzione.

I test sono stati condotti su una scheda prototipale equipaggiata con uno dei chip attualmente disponibili in grado di ricevere T2 e T2 Lite.

I test effettuati hanno riguardato tutti gli aspetti che permettono di caratterizzare la "bontà" di una tecnologia e della sua implementazione su silicio: sensibilità del ricevitore, prestazioni in presenza di rumore gaussiano bianco (AWGN), profili di canali Rice e Rayleigh per simulare la ricezione fissa e portatile rispettivamente, eco a 0dB per valutare le prestazioni in presenza di riflessioni e in reti a singola frequenza, efficacia delle costellazioni ruotate e infine il comportamento in presenza di canali mobili di diverso tipo a differenti velocità (profili COST206 Typical Urban, Hilly Terrain e Rural Area).

Nelle prove di laboratorio abbiamo utilizzato il modulatore Dektec DTU-215 con il software T2Xpress che già in altre occasioni si è dimostrato molto valido e di pratico utilizzo. In contemporanea sono state anche verificate e validate le caratteristiche del modulatore della Screen Service che è stato in seguito installato presso i centri trasmittenti per la sperimentazione su campo. Lo schema di laboratorio utilizzato durante i test è riportato in figura 2.

In quest'articolo riportiamo per brevità, estraendoli dai molti risultati che sono stati ottenuti, solo i dati d'interesse per la successiva sperimentazione in area di servizio. Pertanto la modalità trasmissiva di riferimento prevede l'utilizzo di un segnale "misto" T2+T2 Lite realizzato mediante l'impiego dei FEF. I parametri dello schema di modulazione sono riportati nelle figure 3 e 4.

Fig. 3 - Schema di modulazione per T2 Base

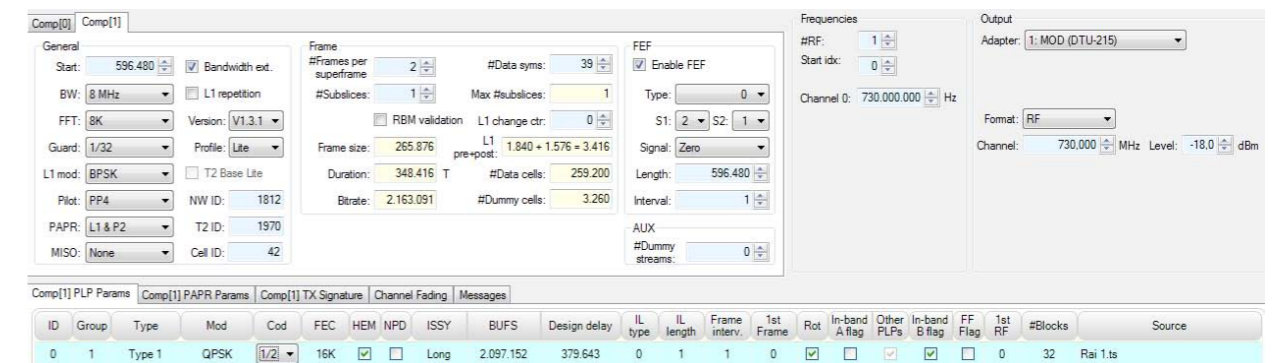



Fig. 4 - Schema di modulazione per T2 Lite

Proponiamo innanzitutto i risultati del DVB-T2 Base su canale gaussiano: i valori di C/N alla soglia di visibilità degli errori a video (Threshold Of Visibility, TOV) ottenuti, e riportati nel grafico di figura 5 sono molto vicini a quanto previsto teoricamente e mediante le simulazioni al computer. Il margine d'implementazione, cioè la perdita rispetto ai valori teorici, è di qualche frazione di dB. Ciò dimostra come la tecnologia DVB-T2 sia già completamente matura e pronta per essere pienamente sfruttata. Si pensi che agli albori del DVB-T il margine d'implementazione dei primi ricevitori professionali era di alcuni dB!

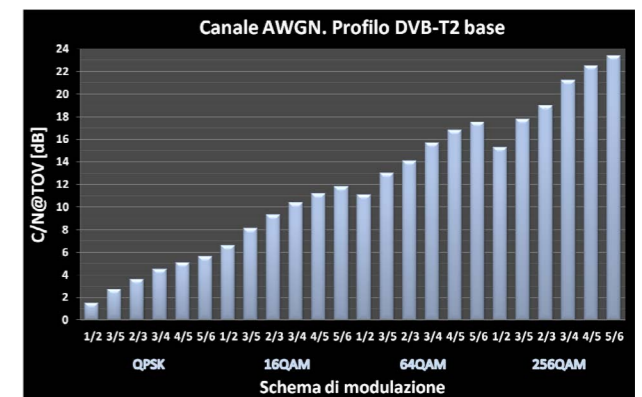
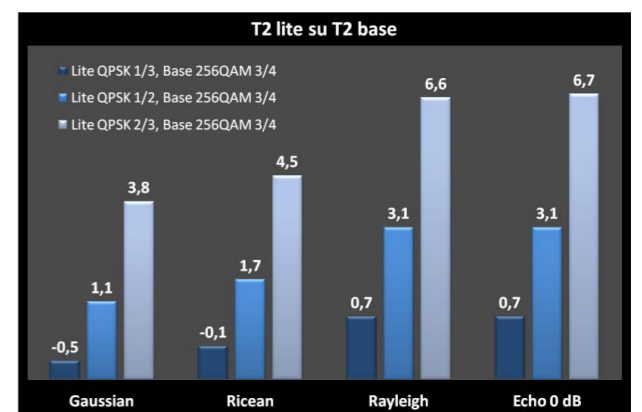
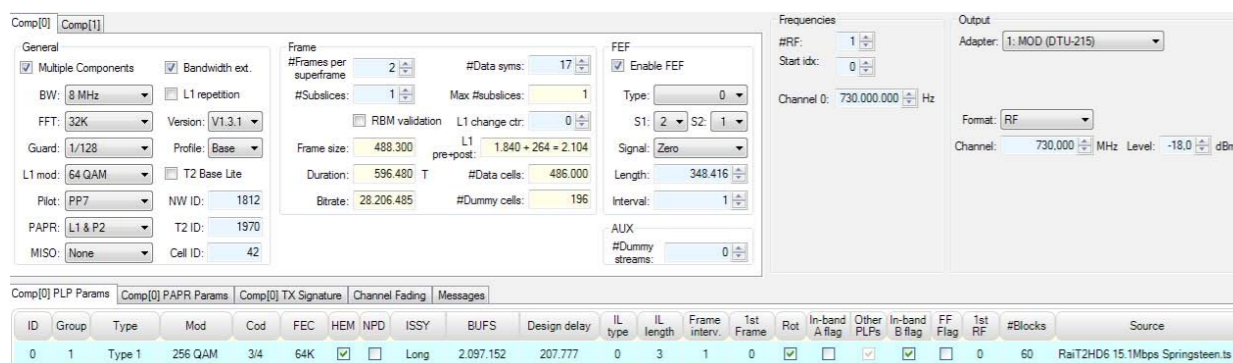



Fig. 5 - Prestazioni del T2 Base su canale gaussiano

Vediamo ora come si comporta il T2 Lite inserito in una trasmissione T2 per mezzo dei FEF. Le prestazioni del T2 Lite in termini di C/N alla soglia di visibilità, limitatamente alle modulazioni più robuste e quindi le più sfruttabili nell'ottica di un utilizzo mobile, sono riportate nel grafico di figura 6.

Anche in questo caso, i valori ottenuti, sono perfettamente in linea con quanto atteso dal punto di vista teorico con margini d'implementazioni molto ridotti. Questo indica che anche il nuovo profilo T2 Lite è stato implementato in maniera molto efficiente. Si noti come nel caso di FEC 1/3 si riesca ad ottenere la ricezione con rapporto segnale su rumore negativo!

Fig. 6 - Prestazioni del T2 Lite

I tre FEC che sono indicati nel grafico riportato sono i medesimi che sono stati utilizzati durante le prove in area di servizio.

Durante i test in laboratorio si è osservato che il tempo di "riaggancio" del ricevitore è veramente limitato: questa è una caratteristica particolarmente apprezzabile nell'utilizzo in movimento vista la natura stessa del canale di propagazione, soggetto a schermature orografiche e artificiali (ponti e tunnel ad esempio) che possono portare ad una repentina perdita del segnale.

Infine riportiamo le prove di laboratorio che simulano il canale mobile. Lo scopo di questo test è verificare la velocità massima che il sistema è in grado di sopportare. In realtà sarebbe più corretto parlare del massimo "Doppler shift" poiché la velocità dipende dalla frequenza di ricezione che si sta utilizzando secondo la seguente formula:

$$v_{max} = \frac{\Delta f \cdot c}{f_0}$$

dove:
Δf = Doppler shift in Hz
c = velocità della luce in m/s
f_0 = centro frequenza del canale utilizzato in Hz

Il grafico riportato in figura 7, per facilitare la comprensione del risultato, riporta la velocità in km/h per il canale UHF 53 (f_0 = 730MHz) che è il canale utilizzato per la sperimentazione in Valle d'Aosta.

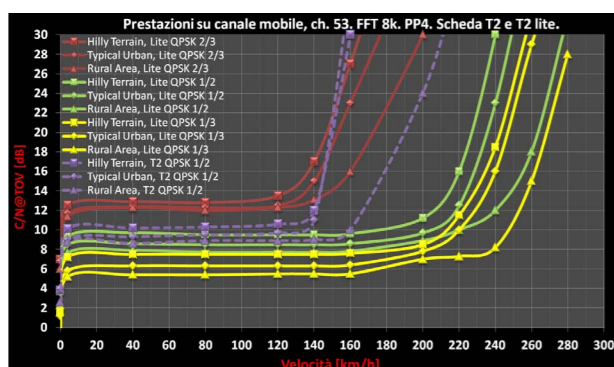



Fig. 7 - Prestazioni del T2 Lite su canale mobile

Da questo grafico si osservi come la massima velocità permessa con FEC 1/2 e 1/3 è intorno ai 240-280 km/h su un canale come il 53 che si trova nella parte alta della banda UHF! Si tratta di una velocità molto elevata compatibile con un utilizzo non solo automobilistico ma che apre anche interessanti prospettive per un impiego sui treni ad alta velocità.

Per ottenere questo risultato si è utilizzato un profilo di portante PP4 che, rispetto al PP7, comunemente utilizzato per la ricezione fissa, comporta una diminuzione del bit rate di circa il 10%, ma permette di ottenere velocità massime quattro volte superiori. Abbiamo inoltre utilizzato la modalità FFT 8k che riteniamo essere un buon compromesso fra robustezza nei confronti dello shift Doppler e ampiezza dell'intervallo di guardia. Si tenga comunque presente che, se necessario, è possibile utilizzare la modalità FFT 4k o 2k che permettono di raggiungere rispettivamente velocità due e quattro volte superiori rispetto all'8k.

Sono stati comunque eseguiti anche i test con il profilo di portante PP7 che confermano le previsioni sopra indicate. Come vedremo anche i test in area di servizio hanno permesso di convalidare la "veridicità" delle prove effettuate in laboratorio.

La sessione di laboratorio ha quindi confermato la bontà del nuovo profilo T2 Lite, la sua efficacia sul canale mobile e ci ha rassicurato riguardo all'implementazione in hardware.

6. La sperimentazione in Valle d'Aosta

6.1 Contesto e obiettivi della sperimentazione

La regione Valle d'Aosta è stata spesso il teatro di numerose sperimentazioni del Centro Ricerche Rai, specialmente con l'avvento del digitale negli anni '90. Per esempio nel 1995-96, agli albori della radio digitale, fu condotta un'intensa campagna di misure sul DAB di cui si può ripercorrere la storia in [11]; quando il digitale terrestre muoveva i primi passi, sul finire degli anni '90, si sperimentò la possibilità di trasferire sui ponti radio analogici il segnale DVB-T [12]; ancora, nei primi anni del 2000 si svolsero in Valle d'Aosta importanti test pre-operativi del digitale terreste [13].

Il motivo di questo connubio Rai CRIT- Valle d'Aosta va cercato nella particolarità di questa regione che, a causa della sua orografia, offre un ambiente particolarmente complesso dal punto di vista della diffusione e della ricezione dei segnali. Le numerose vallate laterali e il cospicuo numero d'impianti che sono necessari per coprire il territorio rendono la Valle d'Aosta perfetta per testare in maniera approfondita le reti a singola frequenza. Inoltre la possibilità di percorrere una fitta rete stradale secondaria, accanto a quella principale dei fondo valle, che spesso s'inerpica su scoscesi versanti montuosi frequentemente nascosti dai trasmettitori, rappresenta un banco di prova straordinario per la ricezione di segnali in movimento (si pensi alla radio digitale DAB o alla TV mobile come nel caso in questione). Infine, la Valle d'Aosta, essendo così ben "schermata" dal resto del territorio nazionale, grazie alle sue imponenti vette montuose, e avendo, rispetto al resto del Paese, un numero limitato di canali occupati, ha una maggior flessibilità nell'assegnazione di frequenze per la sperimentazione.

Per questi motivi, all'inizio del 2013, dopo aver verificato in laboratorio le prestazioni del T2 Lite e la possibilità di utilizzare con profitto il ricevitore T2-T2 Lite montato su una scheda prototipale è partita la sperimentazione in area di servizio.

L'obiettivo del progetto era l'attivazione di un test-bed DVB-T2+DVB-T2 Lite mediante l'accensione di due trasmettitori in località Gerdaz e Salirod in rete a singola frequenza (SFN).

Lo scopo della campagna di misure consisteva nella valutazione delle caratteristiche tecniche del sistema T2+T2 Lite in area di servizio e della copertura in mobilità utilizzando vari schemi di modulazione in funzione del livello di campo disponibile . Inoltre questa sperimentazione era un'ottima occasione per fare esperienza sulla realizzazione di una piccola rete a singola frequenza in "ambiente ostile" con le problematiche ad essa collegata: sincronizzazione dei trasmettitori, valutazione delle aree di sovrapposizione delle coperture, ritardi statici inseriti per evitare zone di interferenza, ecc.

Il progetto si è sviluppato in 5 fasi, ognuna delle quali prevedeva installazioni infrastrutturali:

- ***Fase 1***: allestimento dell'Head-End presso la Sede Regionale Rai di Aosta
- ***Fase 2***: attivazione del trasmettitore situato in località Gerdaz (TX1) in modalità T2 Lite; allestimento dell'automezzo per le misure ed esecuzione dei test fissi e mobili in area di servizio;
- ***Fase 3***: attivazione di un secondo trasmettitore T2 Lite situato in località Salirod (TX2) ed esecuzione dei test fissi e mobili nell'area di servizio con il TX1 spento
- ***Fase 4***: attivazione della rete SFN e ottimizzazione
- ***Fase 5***: test su strada in modalità SFN nella congiunta area di servizio dei due trasmettitori

Nei paragrafi che seguono ripercorreremo le varie fasi.

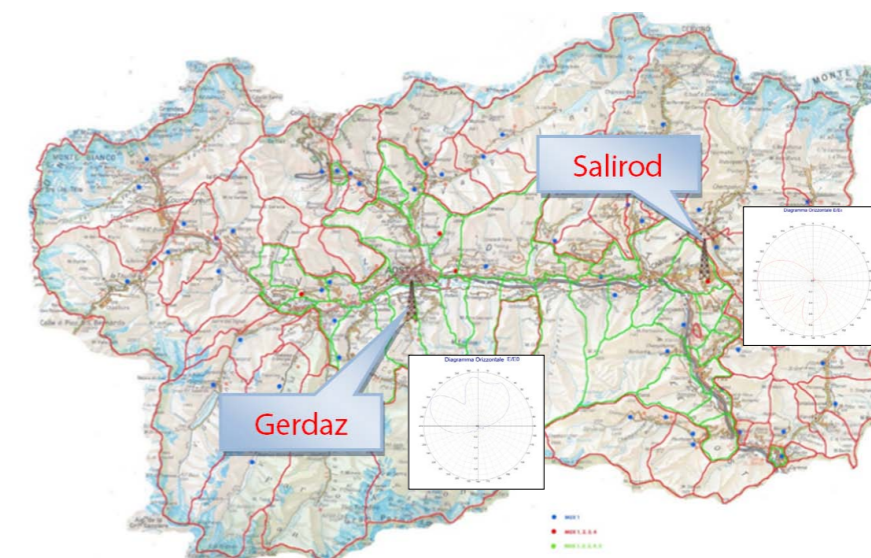
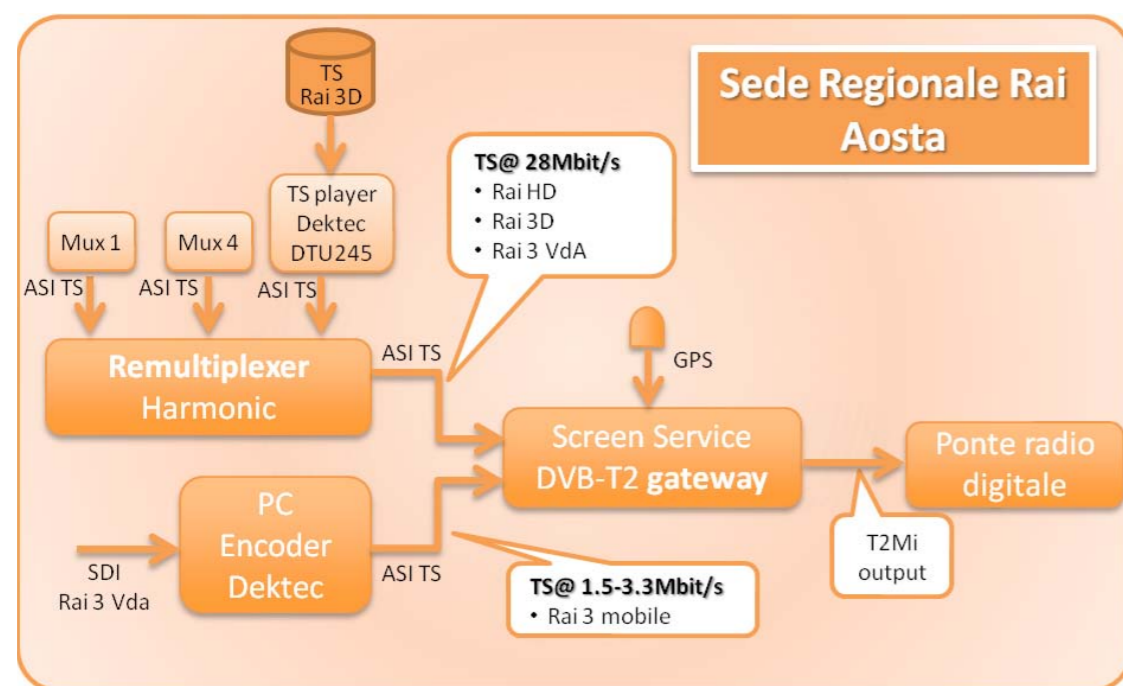



Fig. 8 - Head-End di generazione del segnale

6.2 Head-End e distribuzione dei segnali verso i centri trasmittenti

L'Head-End di generazione del segnale da distribuire verso gli impianti trasmittenti è stato installato presso la sede regionale Rai di Aosta. Lo schema di principio è riportato in figura 8.

Per la parte DVB-T2 Base sono stati prelevati i segnali Rai 1 HD dal Mux 4 del DVB-T (video AVC alta definizione) e Rai 3 TGR VDA dal Mux 1 (video MPEG2 definizione standard). Inoltre abbiamo generato localmente, mediante un player Transport Stream, un segnale 3D attingendo dalla oramai ampia produzione Rai di eventi ripresi con tecnica stereoscopica.

I tre contributi sono stati multiplexati in modo da generare un flusso TS avente un bit rate complessivo pari a 28 Mbit/s in modo tale da essere compatibile con lo schema di modulazione impiegato sul T2 Base.

Per quanto riguarda la parte T2 Lite si è prelevato nuovamente il flusso Rai 3 TGR VDA, ma a differenza di quanto fatto per il T2 Base, dove si è utilizzato il flusso TS proveniente dalla catena di codifica del Mux 1 del DVB-T, abbiamo impiegato direttamente il segnale video SDI con audio embedded per alimentare un encoder software. E' stato così generato un flusso TS a basso bit rate (fra 1,5 e 3,3 Mbit/s in funzione della scheda di modulazione usata durante la sperimentazione T2 Lite) dove la codifica video è stata fatta in AVC definizione standard.

I due flussi TS ottenuti sono stati inviati verso il T2 Gateway della Screen Service appositamente realizzato per la gestione di un flusso T2+T2 Lite. Mediante quest'apparato sono stabiliti i parametri di modulazione dei flussi T2 e T2 Lite in base ai rispettivi bit rate che si desiderano allocare.

Nel caso in questione sono stati utilizzati gli schemi di modulazione indicati in maniera dettagliata nelle figure 3 e 4 e in forma sintetica in figura 9.

Per la parte T2 Base si è deciso di utilizzare la costellazione 256QAM con FEC 3/4 perché permette di avere un'ottima capacità trasmissiva richiedendo un C/N intorno ai 20 dB: tale valore è di poco superiore

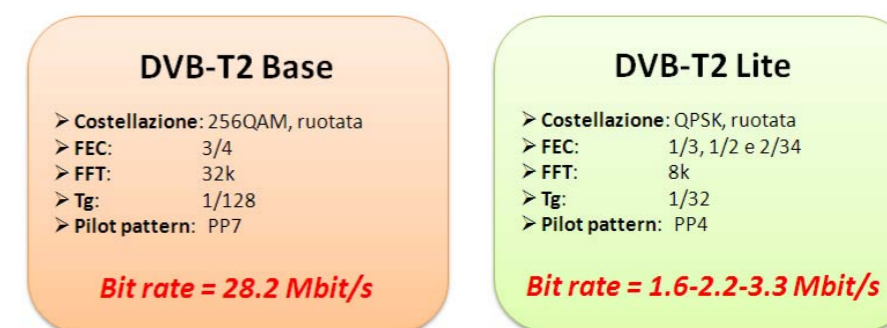



Fig. 9 - Parametri di modulazione

a quanto oggi è necessario per ricevere un segnale DVB-T. Come profilo di portante si è optato per il PP7 poiché la parte base è dedicata alla ricezione fissa con antenna direttiva. Abbiamo infine utilizzato la modalità 32k in modo da massimizzare la durata dell'intervallo di guardia a parità di valore di Tg.

Per la parte T2 Lite si è scelta la costellazione QPSK e abbiamo deciso di effettuare i test, almeno in una prima fase, con tre valori di FEC: 1/3, 1/2 e 2/3. Per la ricezione mobile, come visto nelle prove di laboratorio, la scelta che ci pare ottimale per quanto concerne il profilo delle portanti è il PP4, che garantisce un'ottima robustezza anche ad elevate velocità. Infine, abbiamo utilizzato la modalità 8k che è un buon compromesso fra robustezza in presenza di shift Doppler e ampiezza dell'intervallo di guardia.

Il valore di Tg è stato scelto in modo tale da garantire che nella zona di intersezione della copertura dei due trasmettitori non ci sia interferenza intersimbolica. Dall'analisi delle coperture previste e in base alla distanza dei trasmettitori si è visto che 28 μs di intervallo di guardia erano sufficienti. Nel capitolo dedicato all'allestimento dei trasmettitori ritorneremo su questo argomento in quanto è stato necessario introdurre un ritardo statico sul trasmettitore di Gerdaz.

Il gateway genera il flusso T2-MI contenente tutte le informazioni necessarie ai modulatori posti presso gli impianti trasmittenti per generare il segnale T2-T2 Lite mediante i FEF, come descritto nei paragrafi precedenti. Inoltre, con l'ausilio dei riferimenti di tempo 1pps e di frequenza 10MHz ottenuti mediante il GPS, fornisce anche tutte le informazioni di sincronizzazione necessarie alla realizzazione della rete a singola frequenza. I dettagli relativi all'interfaccia T2-MI si possono trovare in [14].

Il flusso T2-MI viene inviato al ponte radio digitale per la distribuzione verso gli impianti trasmittenti. La struttura portante della rete in ponte radio utilizzata per la sperimentazione è la stessa che alimenta i trasmettitori dell'attuale rete regionale DVB-T. E' gestita da Raiway ed è centrifuga, con punto di generazione regionale proprio nella sede Rai di Aosta. La tecnologia di questa rete è SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

L'installazione dell'Head End T2-T2 Lite nella stessa sede del centro di distribuzione del segnale SDH ha risolto molte delle criticità tecniche proprie dell'iniezione del segnale generato nella rete di trasporto.

In una rete in ponte radio il requisito fondamentale ai fini del trasporto è la vista ottica tra testata di trasmissione e di ricezione. Il sito trasmittente di Gerdaz è in portata ottica con la sede regionale Rai di Aosta ed è raggiuto in modo diretto. Al contrario, il sito trasmittente di Salirod non è in vista ottica con la Rai sede regionale di Aosta; inoltre, purtroppo, non è in portata ottica nemmeno con il trasmettitore di Gerdaz. Il raggiungimento avviene pertanto per mezzo di una triangolazione con il sito trasmittente di Saint-Nicolas, centro ubicato all'incirca a metà strada fra Aosta e Courmayeur, che è in portata ottica con Gerdaz e Salirod.

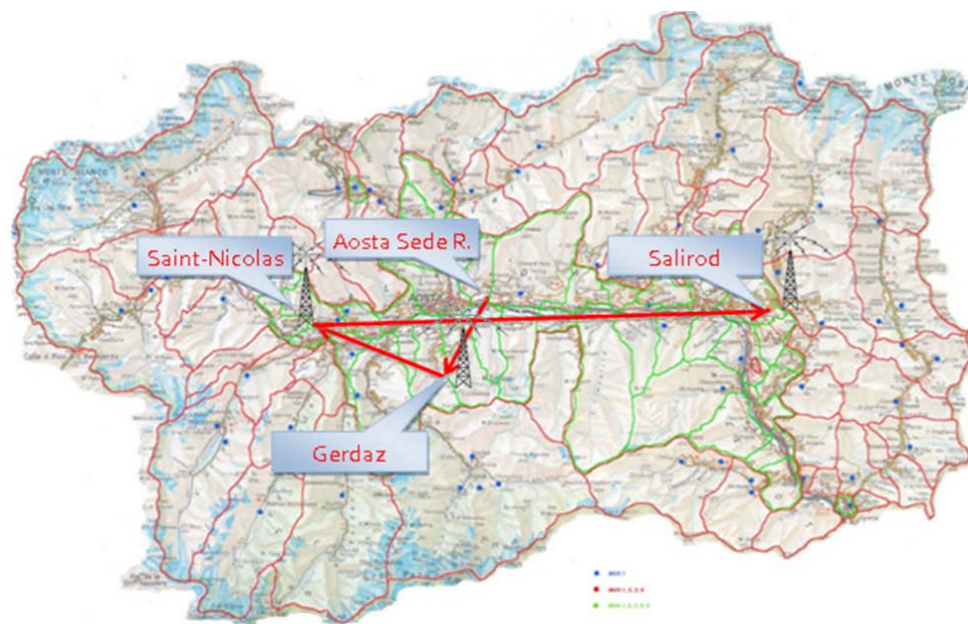



Fig. 10 - Distribuzione dei segnali in ponte radio

Il flusso dati complessivo T2+T2 Lite è pari a 31,5 Mb/s (vedere figura 9, 28,2 + 3,3) e il suo instradamento nella rete è garantito dal Centro Nazionale di Controllo (CNC) di Roma di Raiway.

In figura 10 è visibile lo schema di collegamento degli impianti.

6.3 Impianti trasmittenti

Gli impianti trasmittenti utilizzati durante questa sperimentazione sono ubicati presso Gerdaz (comune di Gressan), 14 km a sud di Aosta ad un'altitudine di 1370m, e Salirod (comune di Saint Vincent), 8 km a est del comune ad una quota di 1090m.

Il flusso T2-MI, giunto agli impianti trasmittenti di Gerdaz e Salirod mediante la rete di ponti radio digitali, è dato in ingresso al modulatore della Screen Service. In realtà, allo stato attuale, l'inserimento della componente T2 Lite all'interno dei FEF del segnale T2 Base è fatto utilizzando un secondo modulatore che agisce in modo perfettamente sincrono al primo. In sostanza i due modulatori generano i segnali T2 e T2 Lite con tecnica "a divisione di tempo" (TDM, Time Domain Multiplexing) utilizzando, per la sincronizzazione le informazioni di servizio relative ai FEF ricevute tramite il flusso T2-MI. Il segnale RF uscente dal modulatore T2 Lite viene passato al modulatore T2 Base che genera il segnale che scaturisce dalla somma T2+T2 Lite. A questo punto il segnale complessivo è pronto per essere inviato all'amplificatore di potenza che genererà il segnale da mandare in antenna.

Lo schema di principio dei due trasmettitori è illustrato in figura 11.

Per garantire la sincronizzazione della rete SFN anche i modulatori, al pari del T2 Gateway, utilizzano i riferimenti di tempo 1pps e di frequenza 10 MHz ottenuti dal GPS.

Il canale utilizzato durante la sperimentazione è il 53 UHF con larghezza di banda 8 MHz in polarizzazione orizzontale. I parametri dei due trasmettitori sono i seguenti:

TX 1: Gerdaz	*TX 2: Salirod*
P_{out} = 40W	P_{out} = 100W
ERP_{real} = -8,3dBk	ERP_{real} = -2dBk
Pol = H	**Pol** = H

Fig. 11 - Set-up dei trasmettitori

Il sistema radiante utilizzato nell'impianto di Gerdaz è in condivisione con gli attuali MUX del servizio regolare DVB-T, mentre per l'impianto di Salirod è stato necessario progettare e installare un nuovo sistema radiante adatto allo scopo.

Le simulazioni relative alle coperture previste dai due trasmettitori ci hanno permesso di individuare l'area di sovrapposizione dei segnali che si attesta all'incirca fra Aosta centro e Nus. Per evitare interferenza intersimbolica abbiamo inserito sul trasmettitore di Gerdaz un ritardo statico di 72 µs. In questo modo l'area di potenziale interferenza viene spostata in zone dove i due segnali non sono mai sovrapposti. Nelle zone "a rischio" invece siamo all'interno dell'intervallo di guardia prescelto che, come visto, è pari a 28 µs. La cartina riportata in figura 12 aiuta a chiarire il risultato ottenuto.

Fig. 12 - Set-up della rete

6.4 Allestimento dei mezzi di misura

Le prove in area di servizio sono state effettuate mediante due mezzi appositamente attrezzati: un'automobile per le misure in movimento e un furgone dotato di palo telescopico per le misure in punti fissi.

Lo scopo delle misure mobili era quello di valutare l'area di copertura e di rilevare la mappa dei livelli di campo all'altezza del tetto dell'automobile, in modo da avere i dati necessari per una futura pianificazione delle reti. Il set-up dell'automobile prevedeva di conseguenza la seguente attrezzatura:

- Sistema di ricezione: è costituito da un'antenna UHF omnidirezionale larga banda in polarizzazione orizzontale (modello usato normalmente sui camper) avente un guadagno di 2,5 dBi sul Canale 53. Il segnale ricevuto viene filtrato mediante un filtro di canale sintonizzato sul canale UHF 53 e amplificato con un amplificatore a basso rumore Mini-Circuits ZHL-1010-75 in modo da compensare le perdite dovute al successivo partitore, inserito in modo da inviare il segnale verso la scheda di ricezione T2 Lite e verso il misuratore di campo.

- Ricevitore DVB-T2 Base e Lite: riceve l'ingresso RF proveniente dall'antenna e fornisce l'uscita Transport Stream. Mediante USB e grazie al software di controllo permette di effettuare l'acquisizione dei parametri di ricezione da cui abbiamo potuto desumere la disponibilità del servizio in movimento.

- Decoder AVC, distributore video e display: l'uscita Transport Stream proveniente dal ricevitore T2 Lite viene decodificata mediante il decoder Tandberg RX1290 che fornisce in uscita il segnale video composito e l'audio. Il video è stato inviato, mediante un distributore, ad un display integrato nella plancia della vettura e ad uno posizionato sotto la capotta per i passeggeri seduti posteriormente. L'audio invece è stato inserito nell'impianto stereo dell'automobile.

- Misura campo di precisione Rohde&Schwarz ESVB: permette di misurare il livello della potenza d'ingresso. Mediante le caratteristiche dell'antenna si risale al campo ricevuto.

- GPS e odometro: permettono di registrare la posizione e la velocità del veicolo in ogni istante.

- Convertitore TS ASI-IP e wireless router: il TS proveniente dal ricevitore T2 Lite è stato anche inviato, previa conversione in un flusso multicast IP, ad un wireless router per la ritrasmissione all'interno del veicolo. Questo segnale è ricevuto mediante un Ipad dotato di un opportuno player multicast.

Il sistema di acquisizione dei parametri di campo, posizione e velocità è gestito da un software appositamente sviluppato in ambiente Labview. Questo software, controlla un ricevitore Rohde&Schwarz ESVB, un GPS prodotto da Garmin ed un'interfaccia della National Instruments che legge gli impulsi odometrici della vettura. L'assenza di questi impulsi, impedisce che più letture vengano acquisite quando questa è ferma.

Una visione d'insieme del mezzo mobile è riportato in figura 13.

Lo scopo delle misure fisse era quello di rilevare, in alcune posizioni dell'area di servizio, il livello del campo disponibile, in modo da verificare la concordanza con le previsioni ottenute mediante le simulazioni al computer. Questo permette di capire se la trasmissione avviene nel modo previsto oppure se ci sono dei problemi sull'impianto radiante o sugli apparati stessi. Queste misure hanno anche permesso di valutare il margine di ricezione sul segnale T2 Base. Oltre a ciò, con il mezzo attrezzato per le misure fisse, abbiamo potuto verificare la sincronizzazione della rete SFN, verificandone i parametri in maniera molto accurata.

Fig. 13 - Allestimento del mezzo usato per le misure

Fig. 14 - Il mezzo per le misure fisse

Per effettuare queste prove il furgone (figura 14), dotato di palo estensibile fino a 15 m agl, è stato attrezzato con:

- Sistema di ricezione: è costituito da un'antenna Log- Periodica Rohde&Schwarz HL223 in polarizzazione orizzontale montata sul palo estensibile avente un guadagno di 6.2 dBi sul canale 53. Il cavo di discesa, lungo 20 m, ha un'attenuazione ben nota (9 dB) in modo da poterne tenere conto in fase di elaborazione dei dati.

- Ricevitore professionale T2-T2 Lite Rohde&Schwarz ETL: permette di valutare e memorizzare la potenza in ingresso, il MER, la costellazione, il margine alla soglia e la risposta all'impulso. Permette inoltre di visualizzare il video sia della parte T2 che di quella T2 Lite.

- Ricevitore DVB-T2 Humax: ci ha permesso di visionare i programmi ricevuti e di valutare, mediante attenuazione, il margine di servizio.

6.5 Misure mobili in area di servizio

Nella prima fase della campagna di misure mobili abbiamo verificato la copertura T2 Lite dei singoli trasmettitori con tre diversi valori di FEC: 1/3, 1/2 e 2/3. Per ognuno di essi abbiamo percorso oltre 400km rilevando la disponibilità del servizio grazie alle informazioni relative ai parametri di ricezione registrate mediante il software di controllo della scheda T2 Lite. Con questi dati, rilevati una volta al secondo circa, messi in relazione con la posizione del mezzo, monitorata e registrata dal GPS, abbiamo ottenuto delle mappe molto dettagliate.

Le prove hanno confermato le ottime prestazioni del sistema T2 Lite che erano state ottenute in laboratorio. Le differenze riscontrate nella disponibilità di servizio al cambiare del FEC sono piuttosto limitate fra 1/3 e 1/2 e lievemente più accentuate con FEC 2/3.

Il trasmettitore di Gerdaz offre una copertura che si estende fra Nus e Arviere nella vallata principale e fino a Valpelline e quasi fino all'abitato di Entroubles nelle vallate a nord di Aosta. Risulta coperta anche la parte a sud del trasmettitore fino all'abitato di Pila. Il trasmettitore di Salirod copre la vallata principale fra Arnad e Aosta centro, la Valtournanche fino ad Antey Saint André e alcune zone intorno a Saint Barthélemy.

Nel complesso abbiamo riscontrato un'ottima copertura su tutti i tipi di strada (autostrada, strade principali e secondarie); le aree urbane di Aosta, Saint Vincent e Chatillon, anche nelle zone ad alta densità abitativa, hanno dato risultati eccellenti, con assenza assoluta di sganci del ricevitore, anche in alcune gallerie. In autostrada, fino alla velocità massima consentita di 130 km/h, non abbiamo riscontrato alcun problema. A questo proposito abbiamo anche effettuato un test cambiando il profilo di portante da PP4 a PP7 e in questo caso, viaggiando a velocità superiori a 70-80 km/h in direzione radiale rispetto

al trasmettitore, il ricevitore sganciava. Questo conferma pienamente i risultati ottenuti in laboratorio su canale mobile. Confortati da questo riscontro si può ragionevolmente ipotizzare che con la modalità T2 Lite prescelta il sistema dovrebbe reggere fino a velocità intorno ai 250 km/h, aprendo così interessanti prospettive di utilizzo sui treni ad alta velocità.

Nelle figure 15 e 16 sono riportate, a titolo di esempio, le coperture dei trasmettitori di Gerdaz e Salirod rispettivamente con FEC 1/2.

Fig. 15 - Disponibilità di servizio T2-Lite. TX Gerdaz, FEC 1/2

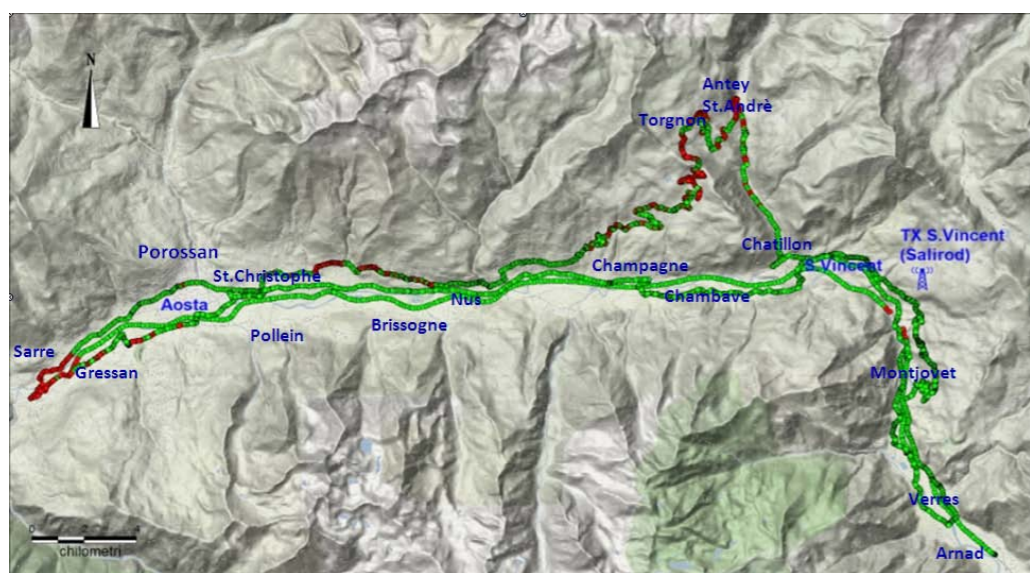



Fig. 16 - Disponibilità di servizio T2-Lite. TX Salirod, FEC 1/2

Mediante il misura campo ESVB, è stata rilevata la potenza d'ingresso del ricevitore da cui, mediante le caratteristiche dell'antenna, si è ricavato il campo disponibile. Anche in questo caso i dati sono stati acquisiti e associati alla posizione e alla velocità del mezzo ottenuti mediante il GPS e l'odometro. In fase di elaborazione dei dati si è calcolato il campo elettromagnetico al 95% su segmenti misurati di 300m: si tratta del valore di campo oltre il quale, nel tratto considerato, cadono il 95% dei dati raccolti. Tali valori sono stati mappati sulla carta geografica con colori che richiamano la ricevibilità del segnale, ottenendo così un'indicazione fra il valore di campo elettromagnetico e la disponibilità del servizio. Questa informazione diventa cruciale in fase di pianificazione delle rete, in cui, sapendo la copertura che si desidera ottenere si può progettare e dimensionare opportunamente il sistema trasmittente e radiante.

Terminate le prove dei singoli trasmettitori si è passati ai test con la rete a singola frequenza. Dopo un necessario periodo di verifica del corretto funzionamento della rete (si veda il capitolo relativo alle misure fisse) siamo passati alla valutazione della disponibilità di servizio mobile. Viste le differenze minime di copertura ottenute con FEC 1/3 e 1/2 abbiamo deciso di utilizzare per questa fase solo quest'ultimo FEC, ritenendolo un ottimo compromesso fra robustezza e capacità trasmissiva. Sono stati ripercorsi gli stessi itinerari utilizzati nelle prove precedenti ottenendo così una mappa della disponibilità del servizio dell'intera rete (figura 17).

Il risultato complessivo è di una disponibilità del servizio del 99%. La copertura è perfetta lungo l'autostrada A5, la statale SS26 e nelle strade secondarie, anche in vallate laterali. In Aosta e nei principali centri urbani il segnale è perfettamente ricevibile ovunque (comprese alcune gallerie). Nella zona di Saint Barthelemy (cerchiata in rosso in figura 17) i segnali provenienti dai due trasmettitori sono oltre l'intervallo di guardia e quindi si interferiscono. Infatti, confrontando la figura 16 (trasmettitore Salirod) con la figura 17 (SFN) si nota un netto peggioramento. Si tratta comunque di una zona che non rientrava nell'area di servizio ma che rappresenta comunque un buon punto di test per future prove di ricezione modificando opportunamente l'intervallo di guardia. Anche per la rete SFN, elaborando la misura della potenza in ingresso al ricevitore e

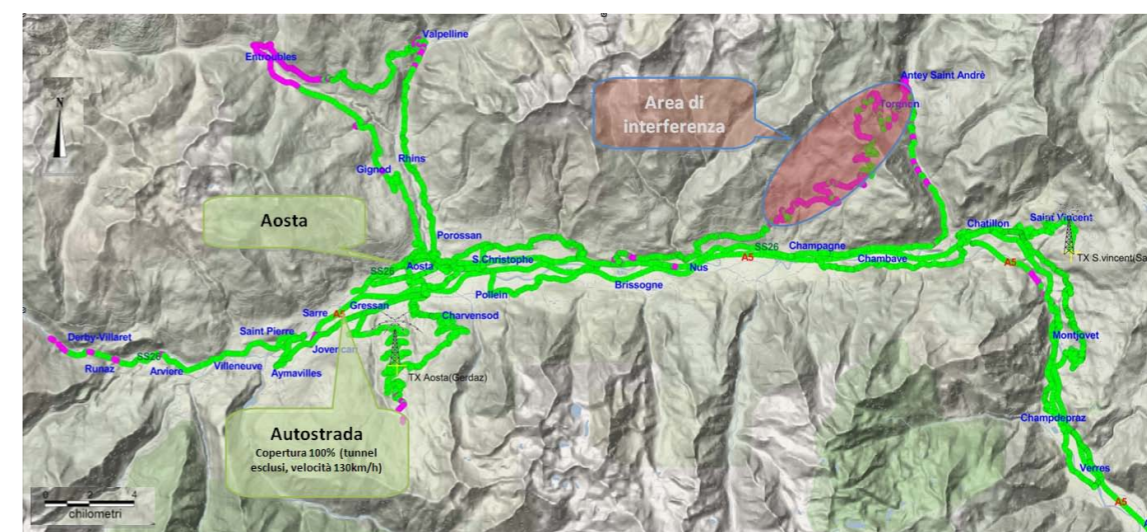



Fig. 17 - Disponibilità di servizio T2-Lite. SFN, FEC 1/2

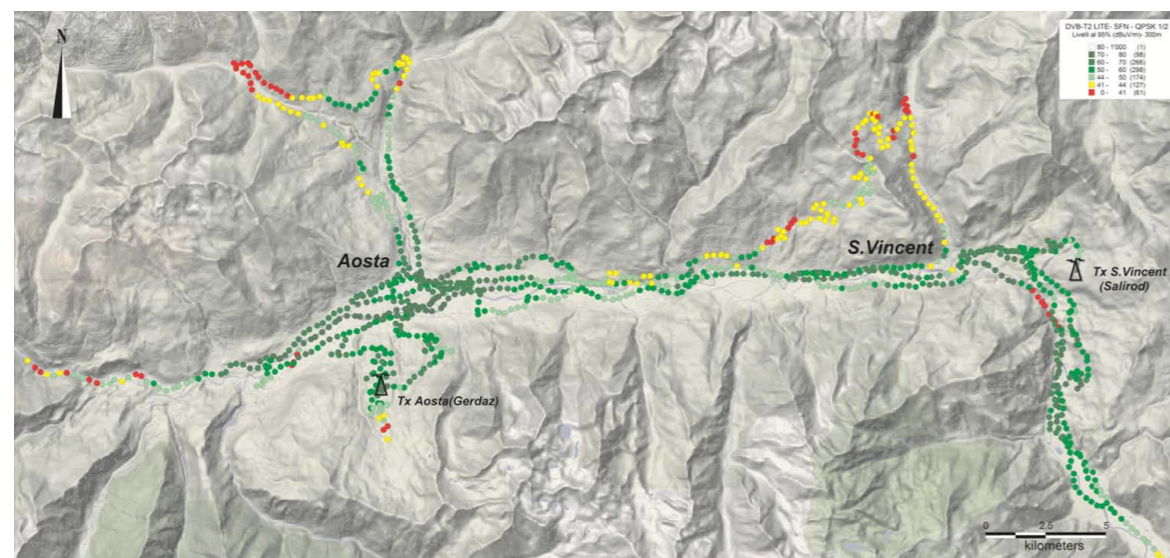



Fig. 18 - Copertura potenziale T2-Lite. SFN

combinandola con i dati del GPS, si è calcolato il campo elettromagnetico al 95% su segmenti misurati di 300m. La mappa della copertura potenziale è riportata in figura 18.

Durante le prove in movimento, il wireless router installato a bordo dell'automobile ritrasmetteva in multicast il flusso Transport Stream generato dal ricevitore T2 Lite nell'abitacolo. Questo segnale è stato ricevuto con successo mediante un Ipad dotato del player multicast Goodplayer.

6.6 Misure fisse in area di servizio

Le misure fisse, eseguite con il furgone attrezzato precedentemente descritto, hanno permesso di rilevare il livello del campo disponibile all'interno dell'area di servizio. Questo dato ha consentito la verifica del funzionamento degli impianti trasmittenti sulla base delle previsioni di campo ottenute in simulazione, la valutazione del margine di ricezione della parte T2 Base e di controllare la sincronizzazione della rete a singola frequenza.

Analogamente a quanto fatto con le misure mobili, nella prima fase si è proceduto attivando un trasmettitore alla volta.

Nei punti di misura prescelti, usando la tecnica della stratificazione, si è rilevato il campo elettromagnetico a diverse quote in modo da trovare il valore di massimo. Inoltre, in tutti i punti, sono stati misurati e registrati i parametri di ricezione: MER, costellazione, risposta all'impulso, ecc. in modo da avere precise indicazioni riguardo al segnale ricevuto e alle eventuali anomalie presenti.

I principali dati rilevati sono riassunti in figura 19.

Tx Gerdaz (45°42'07.18'' - 7°18'33.64'')					
Punto di misura	Coordinate		CEM [dBµv/m]	MER [dB]	Margine [dB]
Saint Christophe rotatoria	45°44'21,29''	7°21'14,57''	90,5	32,6	40
Aosta cimitero	45°43'50.57''	7°17'34.10''	91,6	32,5	37
Quart cimitero	45°44'32,98''	7°23'13.35''	83,5	31,2	29
Quart stazione FF.SS.	45°44'28,39''	7°24'51,53''	55,8	NA	NA
Saint Pierre Hotel Chateau	45°42'32,94''	7°13'37,50''	85,3	31,0	31
Jovencan parcheggio scuola	45°42'53,15''	7°16'29,67''	89,2	32,9	35
Roisan-Rhins peso pubblica	45°47'28,86''	7°18'23,24''	18,0	31,4	27
Porossan-La Chapelle parcheggio	45°45'17,05''	7°19'35,29''	85,6	31,2	31

Tx Salirod (45°44'37.60'' - 7°40'40,76'')					
Punto di misura	Coordinate		CEM [dBµv/m]	MER [dB]	Margine [dB]
Saint Christophe rotatoria	45°44'21,29''	7°21'14,57''	73,1	27,9	18
Brissogne Palafent	45°44'13.7''	7°24'59.6''	77,0	29,7	20
Nus campo sportivo	45°44'29,22''	7°28'30.66''	75,0	30,9	20
Chambave cimitero	45°44'36,44''	7°32'56,18''	79,7	32,3	25
Chatillon Perolles area camper	45°44'56,51''	7°37'25,17''	85,0	30,0	30
Montjovet Bivio per Oley Meran	45°42'24,84''	7°40'05,05''	87,5	NA	32
Champdepraz Piazza Foy	45°41'08,49''	7°39'49,52''	87,0	NA	32

Fig. 19 - Misure fisse in area di servizio. Trasmettitori accesi singolarmente

I valori di campo misurati rispecchiano molto fedelmente le simulazioni al computer, indice questo di un corretto funzionamento degli impianti trasmittenti. Come si può osservare, in area di servizio i valori del campo elettromagnetico sono molto elevati e permettono un margine di ricezione molto ampio.

Terminata la prima fase, i due impianti sono stati accesi contemporaneamente. Per prima cosa si è verificata la sincronizzazione della rete mediante la risposta all'impulso rilevata in alcuni punti del territorio. Mediante un software sviluppato dai colleghi di Rai Way, conoscendo le coordinate del punto di misura e gli eventuali ritardi statici presenti sui trasmettitori, è possibile ottenere il valore del ritardo relativo fra i due segnali. Il confronto fra quanto previsto e il valore ottenuto mediante la risposta all'impulso ha permesso di validare la rete. In seguito, per ognuno dei punti di misura, sono stati rilevati e registrati per mezzo dello strumento di misura ETL della Rohde&Schwarz, lo spettro del segnale, la risposta all'impulso, una visione d'insieme, complessiva dei parametri di ricezione (MER, schema di modulazione, C/N, potenza ecc.) e la costellazione, sia della parte T2 Base sia di quella T2 Lite, ruotando l'antenna del mezzo ricevente in più posizioni. In questo modo i punti di misura prescelti danno un'indicazione delle eventuali criticità di ricezione presenti sul territorio.

Un esempio dei dati raccolti in questa fase della campagna di misure è riportato in figura 20.

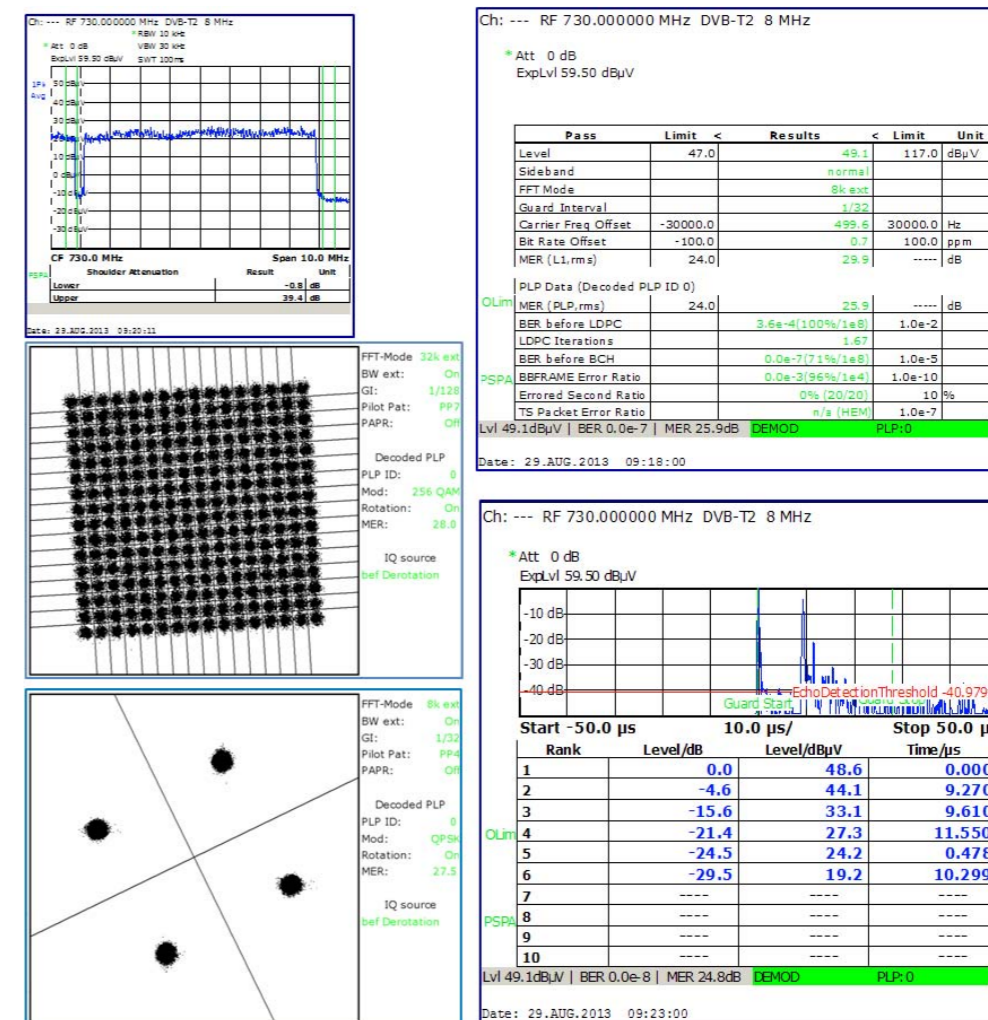



Fig. 20 - Esempi di misure fisse in rete SFN

6.7 Conclusioni

Grazie alla sperimentazione T2-T2 Lite in Valle d'Aosta, condotta da Rai Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica con il supporto e la collaborazione di Rai Way, sul canale 53 UHF in polarizzazione orizzontale dagli impianti di Gerdaz e Salirod, è stato costruito un dimostratore funzionante e di grande impatto, per la TV mobile.

Il DVB-T2 Lite ha dimostrato sia durante i test in laboratorio sia, soprattutto, su campo una robustezza enorme: la capacità di "reggere" nelle condizioni di ricezione più severe è davvero impressionante!

Più in generale possiamo dire che gli obiettivi che c'eravamo posti in fase di pianificazione della sperimentazione sono stati ampiamente raggiunti e questi mesi di lavoro, impegnati in progettazione, allestimento della rete, misure su campo ed elaborazione e analisi dei risultati hanno rappresentato per noi un'eccezionale palestra di esperienze che non mancheranno di avere importanti ricadute sulle nostre attività future.

In particolare abbiamo potuto allestire l'Head-End per la realizzazione di una rete mista T2-T2 Lite utilizzando i FEF e attivare una rete a singola frequenza costituita da due impianti affrontando i relativi problemi di sincronizzazione.

Le prove su campo, che hanno comportato la percorrenza di circa 3000 km sulle strade della Valle d'Aosta e l'utilizzo del mezzo per le misure fisse in decine di test-point, hanno permesso di verificare l'accuratezza dei software di simulazione che forniscono ritardo e campo, la validità, come strumento di previsione delle prestazioni del sistema, delle misure di laboratorio in condizione di ricezione mobile e di toccare con mano la grande robustezza del T2 Lite in area di servizio in una regione caratterizzata da un territorio complesso, dove spesso barriere naturali e artificiali ostacolavano la vista dei trasmettitori. Le medesime considerazioni valgono anche per le prove cui è stato sottoposto il sistema T2 Lite nelle zone urbane densamente abitate (Aosta, Saint Vincent), nelle numerose gallerie che costellano i percorsi e nelle condizioni di Doppler particolarmente severe che s'incontrano sull'autostrada incastonata fra imponenti declivi montuosi percorsa a velocità superiori ai 100 km/h in presenza di echi naturali e "artificiali" (SFN).

La sperimentazione, inoltre, ci lascia un'enorme quantità di dati concernenti i valori di campo ottenibili a livello del tetto dell'automobile correlati alla ricevibilità del segnale: questo rappresenterà uno strumento formidabile per la futura pianificazione delle reti per ottenere la copertura mobile desiderata.

Infine, un risultato inatteso ma che crediamo sia da sottolineare, è che il nostro test-bed è stato (e sarà) utilizzato da diversi costruttori (Altobeam, Sony JP e Daimler) per effettuare delle prove sui loro ricevitori T2 e T2 Lite.

6.8 ...E non finisce qui: sviluppi futuri

Finita questa fase della sperimentazione, ci siamo posti come obiettivo l'estensione e il miglioramento della rete allo scopo di arrivare ad avere quello che si potrebbe definire un servizio pre-operativo. Per giungere a questo risultato pensiamo siano necessari i seguenti passi:

- Sviluppo dell'Head-End. Per quanto riguarda la parte T2 Base trasmetteremo tre servizi "live" in alta definizione. Per questo motivo pensiamo di allestire una catena di codifica costituita da tre encoder AVC (e in futuro, quando disponibili, HEVC) che operano in Multiplex statistico. Sulla parte T2 Lite porteremo tre programmi codificati con AVC a basso bit rate grazie ad un nuovo software che Dektec sta sviluppando ad-hoc per quest'applicazione. L'Head-End risultante è riportato in figura 21 (i programmi indicati rappresentano un esempio e non una scelta definitiva).

- Estensione della copertura. La parte bassa della Valle d'Aosta (verso Pont Saint Martin) e quella alta (Courmayeur) non sono attualmente coperti dalla sperimentazione. Per ottenere una copertura ottimale di tutto il fondo valle, da Quincinetto fino al confine di Stato, con importanti estensioni nelle vallate laterali è sufficiente attivare altri due trasmettitori, Tete d'Arpy e Col Courtil, con potenze simili a quelle impiegate presso Gerdaz (50 W). Si veda figura 22.

- Aumento della complessità della rete a singola frequenza. Per "stressare" maggiormente la rete abbiamo pensato di inserire un ulteriore trasmettitore nella zona di Aosta. Blavy, già utilizzato a questo scopo in altre circostanze, è il sito adatto per quest'operazione.

- Test con ricevitori commerciali e con panel di utenti. Alcuni costruttori, come Altobeam e Sony, hanno oramai a disposizione degli apparati T2-T2 Lite pronti a essere commercializzati. E' quindi interessante testare questi prodotti e vedere l'effetto che essi hanno su degli utenti "veri".

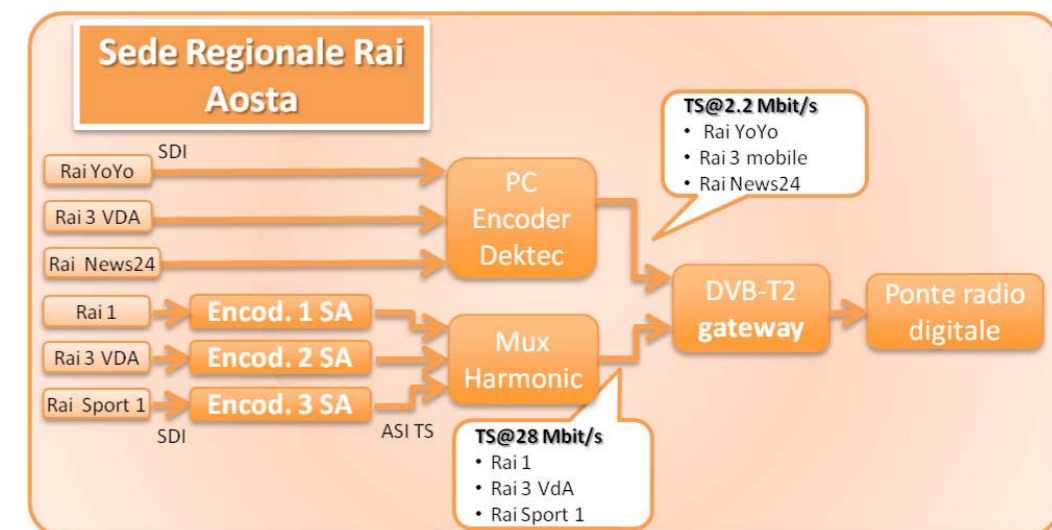



Fig. 21 - Evoluzione dell'Head-End

Fig. 22 - Estensione della copertura

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i colleghi del Centro Ricerche Bruno Sacco, Vittoria Mignone, Giovanni Bongiovanni, Gianpaolo Placidi, Enrico Cavallini e Alberto Ciprian per il supporto fornito in fase di pianificazione e di svolgimento della sperimentazione e durante l'elaborazione dei dati.

Esprimiamo inoltre la nostra gratitudine ai colleghi Rai Way della sede Rai di Aosta Corrado Gigliotti, Michelino Gigliotti, Paolo Merlet, Pietro Del Fino, Diego Verthuy, Erik Jorrioz, Enrico Lachin, Stefano Grigoletto, Andrea Marquet e Andrea Mazzola che in tutti questi mesi di prove su campo, con grande dedizione e professionalità, ci hanno seguito fornendoci un aiuto non solo logistico ma anche di pianificazione e sono spesso intervenuti nelle situazioni di "emergenza" che una sperimentazione inevitabilmente comporta.

Ringraziamo "Oscar" Hu Zhong e *Giordano* Godizzi di Screen Service per la costante assistenza che ci hanno fornito nella gestione dei trasmettitori e per l'abilità che hanno dimostrato nel saper gestire e risolvere le problematiche concernenti macchine prototipali ancora in fase di sperimentazione.

Bibliografia

[1] http://it.wikipedia.org/wiki/Televisione_mobile

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_television

[3] ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11), *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*

[4] A. Bertella, P. Casagranda, D. Milanesio, M. Tabone, *Il sistema DVB-H per la TV mobile*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LIV , Numero 3, Dicembre 2005, pp 23-42

[5] MB, NS, *HDTV e TV Mobile, scintille di passione a Torino,* in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LV , Numero 1, Aprile 2006, pp 5-20

[6] A. Morello, G. Alberico, M. Stroppiana, *Rai HDTV and DVB-H Trials during the Turin Winter Olympics*, IBC 2006 Conference, Amsterdam, September 2006

[7] ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04), *Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*

[8] V. Mignone, A. Morello, G. Russo, P. Talone, *DVB-T2, la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVII, Numero 3, Dicembre 2008, pp 14-44

[9] A. Bertella, V. Mignone, B. Sacco, M. Tabone, *Il digitale terrestre di seconda generazione*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVIII , Numero 2, Agosto 2009, pp 33-40

[10] V. Mignone, *T2-Lite: il nuovo profilo "leggero" del DVB-T2 per la TV mobile,* in Elettronica e Telecomunicazioni, questo stesso numero, pp 7-11

[11] AA.VV., *Articoli vari*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno XLV , Numeri 2 e 3, 1996

[12] A. Bertella, S. Berto, S. Mina, M. Tabone, *DVB-T: test sul collegamento in ponte radio analogico St. Vincent-Gerdaz,* Relazione Tecnica Rai-CRIT N° 99/13, Marzo 1999

[13] P. B. Forni, S. Ripamonti, V. Sardella, *Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LI, Numero 1, Aprile 2002, pp 49-62

[14] ETSI TS 102 773 V1.3.1 (2012-01), *Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*

SFN-Scope:

sistema evoluto di identificazione dei segnali SFN DVB-T

Bruno **Sacco**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Viene qui descritto un sistema innovativo per l'identificazione dei segnali ricevuti da un insieme di trasmettitori, appartenenti ad una rete SFN DVB-T.

Ciascun trasmettitore trasmette un proprio identificativo codificato nelle portanti di servizio TPS, campo Cell-id. Il segnale che ne risulta è conforme alla norma, per quanto riguarda la ricezione del servizio TV, ed opera effettivamente in SFN. Per le sole celle TPS, invece, il segnale diventa simile a quello di un sistema MISO.

E'stato sviluppato un algoritmo che permette di risolvere le N risposte in frequenza dei canali associate agli N trasmettitori. Con una tecnica Compressive Sensing è possibile disaggregare la risposta all'impulso globale in N risposte all'impulso individuali, per l'identificazione dei singoli trasmettitori.

1. Introduzione

Il sistema per la televisione digitale terrestre adottato in Europa e in molti altri paesi del mondo è denominato DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) [1], e si basa sulla modulazione multi portante OFDM (*Ortogonal Frequency Division Multiplex*). Con l'introduzione della modulazione OFDM è possibile operare anche con reti "a singola frequenza", note come SFN (acronimo di *Single Frequency Network*), in cui tutti i trasmettitori della rete trasmettono su un'unica frequenza segnali che devono essere perfettamente uguali e sincroni. In questo modo il segnale in antenna ad ogni ricevitore è virtualmente costituito da serie di "echi" dello stesso segnale (al più di potenza diversa e con ritardi di propagazione diversi). Ciò comporta l'utilizzo di un opportuno meccanismo di generazione del flusso di bit, di distribuzione ai vari trasmettitori della rete, e di sincronizzazione dei medesimi, come descritto nella specifica tecnica ETSI [2].

2. Il problema del monitoraggio

In molti paesi del mondo, compresa l'Italia, si sta effettuando il passaggio dal sistema televisivo analogico a quello digitale. Ciò comporta una serie di problematiche in parte già note dai sistemi analogici, in parte specifiche del mondo digitale.

SFN-Scope

In particolare, in fase di allestimento della rete, di messa a punto, di monitoraggio e di individuazione dei problemi, risulta di grande utilità il poter identificare i segnali in arrivo al ricevitore, in un qualsiasi punto dell'area coperta. Ad oggi, gli strumenti di misura utilizzati allo scopo (ad es.: Rohde&Swartz ETL, AdCoCom 4T2, oppure Analizzatori di Segnali Vettoriali con opzioni di misura DVB-T) non sono in grado di identificare la provenienza dei vari segnali; tuttavia forniscono una indicazione della distribuzione livello – ritardo differenziale del segnale ricevuto. Dal momento che in una rete SFN vengono trasmessi nel medesimo istante segnali identici da trasmettitori differenti, l'effetto che ne risulta al ricevitore è analogo alla ricezione di un unico segnale a cui si sovrappongano echi generati dalla riflessione del segnale da parte di ostacoli (edifici, montagne e così via).

Il ricevitore OFDM contiene al suo interno un sottosistema di equalizzazione degli echi che si basa sulla stima della risposta in frequenza del canale, ottenuta tramite le portanti pilota.

Come è noto, la trasformata di Fourier inversa della risposta in frequenza del canale è la *risposta all'impulso*: questa proprietà viene sfruttata negli strumenti di misura DVB-T (figura 1) per fornire indicazioni relative agli *echi* ricevuti (ritardo rispetto al segnale diretto e livello relativo).

Tali strumenti, tuttavia, non permettono l'individuazione selettiva dei trasmettitori da cui provengono i vari contributi al segnale ricevuto corrispondenti ai vari picchi evidenziati dalla risposta all'impulso, cosa che sarebbe estremamente utile in fase di implementazione, monitoraggio e manutenzione di una rete SFN. In Italia la situazione è particolarmente complicata dal fatto che alle reti nazionali DVB-T è stata assegnata una frequenza SFN unica sull'intero territorio nazionale, cosa che penalizza l'utente: in molte situazioni, specialmente sulle coste o nelle pianure, anche per propagazione anomala, al ricevitore arrivano segnali trasmessi dalla *seconda cerchia* di trasmettitori, il cui ritardo si colloca di solito fuori dall'intervallo di guardia, quindi oltre le possibilità di equalizzazione del sistema. Il monitoraggio della rete risulta quindi particolarmente complicato.

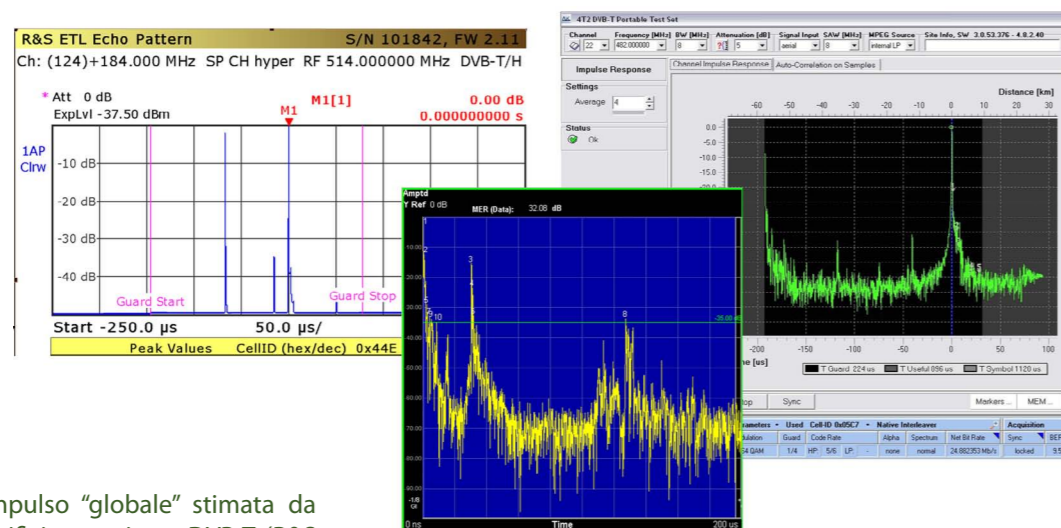



Fig. 1 - Risposta all'impulso "globale" stimata da strumenti specifici per misura DVB-T (R&S ETL, AdCoCom 4T2) e Analizzatori Vettoriali (Agilent MXA)

3. Le portanti TPS

In figura 2 viene rappresentata una mappa tempo/frequenza di una trama di un segnale OFDM, in cui ogni riga rappresenta un simbolo OFDM ed ogni posizione al suo interno rappresenta una sottoportante.

La struttura di trama del segnale OFDM è costituita da una sequenza di simboli OFDM all'interno dei quali sono posizionate le portanti modulate dai dati, secondo lo schema scelto (QPSK, 16QAM o 64QAM), e alcune portanti di servizio.

Le portanti di servizio si dividono in due categorie:

a) portanti pilota: sono trasmesse a potenza maggiore (+2,5 dB) e vengono utilizzate in ricezione per la stima della risposta del canale. Esse si dividono ulteriormente in:

   - Portanti pilota continue (Continual Pilots): occupano posizioni fisse, cioè si ripetono alle stesse frequenze in ogni simbolo;

   - Portanti pilota distribuite (Scattered Pilots): occupano posizioni di frequenza variabili da simbolo a simbolo.

b) portanti TPS (Transmission Parameters Signalling): sono portanti di servizio modulate con informazioni riguardanti i parametri di trasmissione; utilizzano una modulazione molto robusta (codifica/modulazione differenziale 2PSK, con codice di correzione di errore BCH), in modo da essere ricevute anche in condizioni estreme.

Più nel dettaglio, le portanti TPS sono utilizzate per veicolare i parametri relativi al sistema di trasmissione, vale a dire di codifica di canale e modulazione. Sono trasmesse 17 portanti TPS per il modo 2k e 68 portanti per il modo 8k. In un dato simbolo OFDM tutte le portanti TPS trasmettono il medesimo bit, con codifica differenziale. La posizione delle portanti TPS all'interno del simbolo è statica ed è stata scelta con una regola pseudo casuale in modo da evitare periodicità in frequenza. Di conseguenza, l'esatta posizione delle portanti TPS viene specificata con una tabella che è definita nella norma ETS 300744.

Le portanti TPS contengono informazioni di servizio, tra cui:

- tipo di modulazione (QPSK, 16QAM e 64QAM);
- informazioni sulla gerarchia;
- intervallo di guardia;
- codice FEC delle portanti dati;
- modalità di trasmissione (2k o 8k).

Le TPS sono trasmesse su 68 simboli OFDM consecutivi definendo così la cosiddetta "trama OFDM". Quattro trame OFDM consecutive corrispondono a una "super trama". La sequenza di riferimento corrispondente alla portante TPS del primo simbolo di ogni trama OFDM è utilizzata per inizializzare la modulazione differenziale.

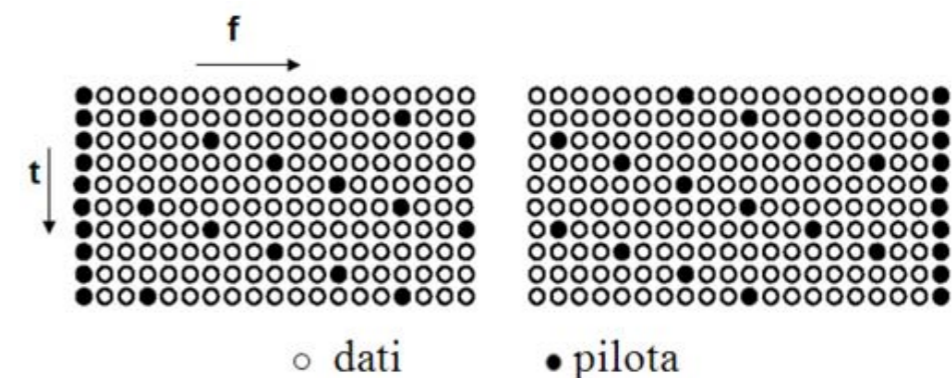



Fig. 2 - Mappa tempo/frequenza di una trama OFDM

Ogni simbolo OFDM trasmette un bit TPS. L'insieme dei 68 bit TPS contenuti in una trama OFDM, sono definiti come segue:

- 1 bit di inizializzazione;
- 16 bit di sincronizzazione;
- 37 bit di informazione;
- 14 bit di ridondanza per la protezione di errore.

Dei 37 bit di informazione, al momento dell'emanazione della norma ETSI, 23 bit di informazione erano utilizzati effettivamente mentre i 14 bit rimanenti erano stati riservati per utilizzi futuri e dovevano essere settati a 0.

Con l'emanazione dello standard DVB-H (*Digital Video Brodcasting – Handheld*, ossia il sistema per portare la TV sui dispositivi portatili) [3], alcuni dei suddetti 14 bit rimanenti sono stati assegnati, in particolare 8 sono stati allocati per l'identificazione della cella.

Le informazioni sui parametri di trasmissione sono inviate come illustrato in tabella 1. I bit S40-S47 trasportano le informazioni relative all'identificatore di cella (*Cell-Id*) utilizzato per identificare da quale cella viene trasmesso il segnale.

Bit #	Contenuto
S0	Inizializzazione
S1-S16	Parola di sincronizzazione
S17-S22	Indicatore di Lunghezza
S23, S24	Numero di trama
S25, S26	Costellazione
S27, S28, S29	Informazione Gerarchia
S30, S31, S32	Code Rate, flusso alta priorità
S33, S34, S35	Code Rate, flusso bassa priorità
S36, S37	Intervallo di guardia
S38, S39	Modalità di trasmissione
S40-S47	**Identificatore di cella (*Cell-Id*)**
S48-S53	Non usati (zero)
S54-S67	Codice di protezione di errore, BCH

Tab. 1 - Allocazione dei bit di segnalazione delle portanti TPS

Il byte più significativo del *Cell-Id* viene trasmesso nelle trame dispari della super-trama, mentre il byte meno significativo del *Cell-Id* viene trasmesso nelle trame pari (tabella 2).

Bit delle TPS	Trama 1 o 3	Trama 2 o 4
s40	cell_id b15	cell_id b7
s41	cell_id b14	cell_id b6
s42	cell_id b13	cell_id b5
s43	cell_id b12	cell_id b4
s44	cell_id b11	cell_id b3
s45	cell_id b10	cell_id b2
s46	cell_id b9	cell_id b1
s47	cell_id b8	cell_id b0

Tab. 2 - Utilizzo dei bit S40-47

In questo modo, utilizzando 8 bit, si riescono a mappare fino a 65535 *Cell-Id* differenti, equivalenti a 16 bit. Se il *Cell-Id* non è abilitato, gli otto bit devono essere impostati a zero.

4. Utilizzo (convenzionale e non) del campo Cell-id

Mentre nella norma DVB-H l'utilizzo del *Cell-Id* (che in tale standard identifica un gruppo di trasmettitori del segnale telefonico) è obbligatorio, nel caso dello standard DVB-T il *Cell-Id* è un parametro facoltativo. In ogni caso, anche se non espressamente specificato nella norma DVB-T, è inteso che in una rete SFN tutti i trasmettitori abbiano medesimo valore di *Cell-Id*.

Ma cosa succede se, su alcune TPS, i trasmettitori emettono bit diversi?

Le portanti TPS i cui bit relativi al *Cell-Id* risultino differenti, generano un conflitto[Nota 1] che può portare al fallimento della demodulazione, ma *limitatamente alle sole portanti TPS*. Tuttavia, essendo la modulazione adottata per le TPS molto robusta, un errore di demodulazione sulle TPS si verifica solo in condizioni particolarmente sfavorevoli e cioè quando i segnali ricevuti sono isolivello o quasi. Nella realtà tale situazione è estremamente rara e si è inoltre verificato che anche in tali casi estremi in cui le portanti TPS non sono correttamente demodulate, la maggior parte dei i ricevitori utente possono ricevere correttamente.

L'esperienza ha invece dimostrato che alcuni apparati semi-professionali, di vecchia generazione impiegati generalmente da installatori d'antenna, che fanno uso delle portanti TPS per ottenere una stima della qualità del segnale ricevuto, basandosi su criteri geometrici dei punti della costellazione (MER, Modulation Error Ratio), risentono negativamente dell'eventuale conflitto di identificatori di cella. Inoltre anche alcuni ricevitori consumer possono risentire negativamente del *Cell-Id* diverso, seppur in condizioni particolarmente sfavorevoli (isolivello o quasi).

Tra gli operatori italiani, Rai Way ha per primo introdotto l'utilizzo del parametro di trasmissione *Cell-id* per identificare il sito trasmittente. In ogni trasmettitore DVB-T questo parametro viene configurato ad un valore pari al codice geografico del sito trasmittente di appartenenza. Gli strumenti di misura del segnale DVB-T permettono di decodificare e visualizzare il parametro Cell-id del segnale ricevuto; di conseguenza con questa pratica è possibile risalire alla località da cui il segnale è stato trasmesso. Dato che, come si è detto, in una rete SFN in cui ciascun trasmettitore inserisce il proprio Cell-id , le risultanti TPS vengono ricevute in "conflitto", non è possibile con la semplice tecnica di decodifica presente negli strumenti di misura risalire a tutti gli identificativi presenti, ma solo a quello del segnale principale. La pratica quotidiana di monitorare i segnali isofrequenza provenienti da diversi trasmettitori risulta quindi comunque complicata, e richiede successivi puntamenti dell'antenna di misura, per tentativi, al fine di fare prevalere (sempreché possibile) la ricezione da ciascun trasmettitore individualmente. Purtroppo, così facendo la sequenza dei ritardi reciproci viene alterata con grave complicazione aggiuntiva.

5. L'algoritmo di analisi

E'stato ideato e messo a punto un nuovo metodo che permette di identificare individualmente e simultaneamente i vari trasmettitori DVB-T SFN ricevuti. Il presupposto è, come sopra esposto, quello di inserire nel campo *Cell-id* delle portanti TPS di ogni trasmettitore un identificativo univoco.

Nota 1 - Si consideri che le portanti TPS sono modulate in modo differenziale: quindi il valore modulato dipende anche dai bit precedenti. Di conseguenza, portanti TPS successive ad un conflitto possono risultare in conflitto. Nel caso S48-53 ciò non costituisce comunque un problema in quanto tali celle non sono usate. Le rimanenti, S54-67, relative al BCH sarebbero già, comunque, in conflitto.

5.1 Separazione dei contributi con tecnica MISO

Il fatto che, in determinate posizioni tempo-frequenza si trasmettano segnali differenti da parte di trasmettitori distinti, ha due aspetti interessanti: se da un lato può essere considerato una collisione, fenomeno con connotazione negativa, dall'altro questo è analogo a ciò che avviene nei sistemi ad antenna multipla MIMO/MISO (Multiple Input Multiple Output/ Multiple Input Single Output) [4], in cui si ottiene il riuso della banda tramite la trasmissione da antenne multiple di segnali diversi sulla stessa frequenza. Grazie alla *diversità spaziale* è dunque tecnicamente possibile risalire alle *singole* risposte in frequenza dei canali di trasmissione relativi alle tratte definite tra ciascuno dei trasmettitori ed il ricevitore.

Vediamo nel dettaglio il metodo che è stato sviluppato.

A titolo esemplificativo, in figura 3 è raffigurata un'area geografica coperta da un insieme di trasmettitori DVB-T SFN.

In un dato punto geografico desideriamo identificare ciascuna componente del segnale ricevuto, il quale è costituito dalla sovrapposizione dei segnali trasmessi da una molteplicità di trasmettitori. Ciascun trasmettitore inserisce il proprio codice identificativo nel campo *Cell-Id*, nei simboli S40-S47 delle portanti TPS. Come sopra accennato, in tali condizioni convivono due situazioni differenti:

- nelle celle che trasportano dati all'utente (video, audio, ecc), il segnale OFDM ricevuto è perfettamente coerente: non vi sono collisioni, garantendo così una perfetta ricezione; inoltre ciò è vero anche per le portanti TPS nei simboli in cui i bit sono identici, (in particolare S0-S39). La situazione è virtualmente indistinguibile da quella in cui vi sia *un solo trasmettitore* in servizio, e si sia in presenza di echi naturali (riflessioni del segnale da ostacoli di varia natura);

- nei simboli S40-S47[Nota 2], in cui vengono trasmessi bit diversi relativi ai codici identificativi di trasmettitori diversi, al contrario, il segnale OFDM ricevuto contiene collisioni: nelle posizioni delle portanti TPS di tali simboli si configura una nuova opportunità: utilizzare le tecniche MISO per disaggregare le varie componenti.

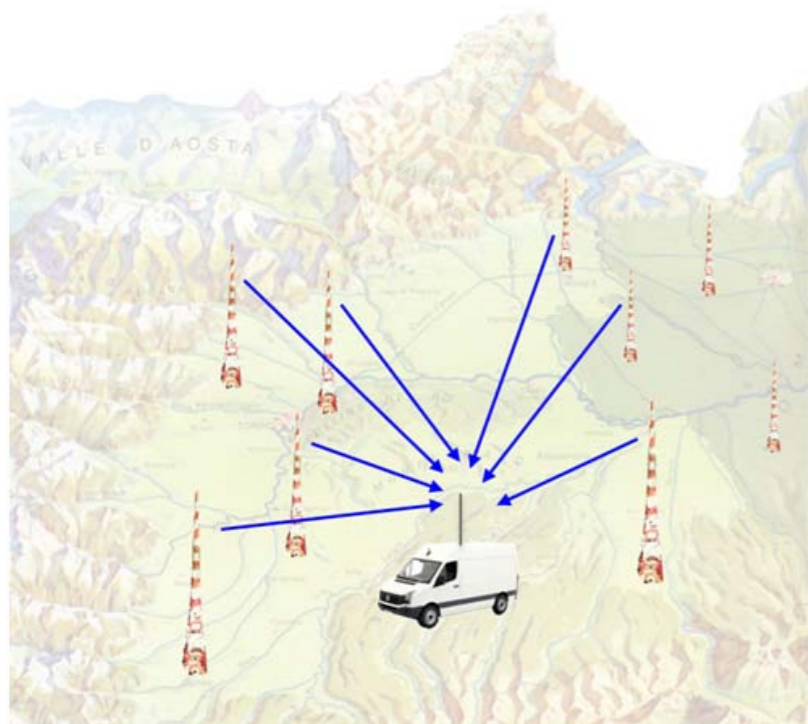



Fig. 3 - Misura in area di copertura

Nota 2 - E, in virtù della codifica differenziale, anche dei bit che seguono

Consideriamo il ricevitore di misura, posizionato nel punto geografico richiesto, che riceve i segnali dai trasmettitori in servizio su quell'area.

Il segnale, espresso nel dominio del tempo, $x_i(t)$ trasmesso dal generico (i-esimo) trasmettitore e il relativo segnale $y_i(t)$ ricevuto dal ricevitore di misura, possono essere rappresentati nel dominio della frequenza, applicando la trasformata di Fourier, rispettivamente come $X_i(\omega)$ ed $Y_i(\omega)$. Considerando che il canale di trasmissione su cui si propagano (dall' i-esimo trasmettitore al ricevitore di misura) i segnali $x_i(t)$ è affetto da propagazione per cammini multipli (*multipath fading*), esso può essere caratterizzato dalla *risposta all'impulso* $h_i(t)$ oppure dalla trasformata di Fourier $H_i(\omega)$ di quest'ultimo, detta anche *risposta in frequenza del canale*. Medesimo discorso vale per ciascuno degli N trasmettitori: in questo modo si definiscono N differenti "canali di trasmissione": quello tra trasmettitore 1 e ricevitore, quello tra trasmettitore 2 e ricevitore, e così via, ciascun canale essendo affetto da parametri suoi propri dovuti all'individuale propagazione per cammini multipli. Ogni "canale di trasmissione" avrà, in definitiva, ritardo, sfasamento e attenuazione differente[Nota 3].

Per l'i-esimo canale di trasmissione vale la relazione

$$\mathrm{Y_i}(\omega) = \mathrm{X_i}(\omega) \cdot \mathrm{H_i}(\omega)$$

in cui le variabili X_i, Y_i e H_i sono grandezze complesse, e l'operatore "·" denota il prodotto complesso.

Inoltre, dato che nel caso di modulazione OFDM si utilizza un'elaborazione a dati campionati, con una trasformata di Fourier discreta (FFT) nel demodulatore, e la sua inversa (IFFT) nel modulatore, le variabili sopra menzionate sono espresse utilizzando un primo indice n per la posizione del simbolo all'interno della trama, e un secondo indice k per la posizione in frequenza.

Quindi, per un segnale OFDM, la relazione precedente può essere riscritta come:

$$\mathrm{Y_i}(\mathrm{n,k}) = \mathrm{X_i}(\mathrm{n,k}) \cdot \mathrm{H_i}(\mathrm{n,k})$$

Vale poi la sovrapposizione degli effetti, quindi il segnale totale Y(n,k) ricevuto è la somma di tutti gli N segnali parziali $Y_i(n,k)$, con i compreso tra 1 e N.

In sintesi, e nello specifico, i segnali "totali" Y(40,k) … Y(47,k), ricevuti dal ricevitore sulle celle TPS di indice k durante i simboli S40-S47 della trama del segnale OFDM, sono dovuti alla sovrapposizione di tutti i segnali relativi agli N trasmettitori della rete a singola frequenza che insistono sulla zona di ricezione del punto geografico. Ciascun contributo risulta moltiplicato per la propria risposta in frequenza del canale. In termini matematici risulta quindi:

$$\begin{cases} Y(40,k) = \sum_{i=1}^{8} X_i(40,k) \cdot H_i(40,k) \\ Y(41,k) = \sum_{i=1}^{8} X_i(41,k) \cdot H_i(41,k) \\ \dots\dots\dots \\ Y(48,k) = \sum_{i=1}^{8} X_i(48,k) \cdot H_i(48,k) \end{cases}$$

Per ciascun valore di k le precedenti equazioni definiscono un sistema lineare, la cui forma compatta matriciale è

$$\underline{Y} = \underline{X} \cdot \underline{H}$$

in cui:

- $\underline{Y}$ è un vettore di 8 elementi in cui un elemento Yj rappresenta un segnale acquisito tramite il ricevitore e relativo al j-esimo simbolo (con j= 40..47) della trama del segnale DVB-T;

- $\underline{X}$ è una matrice di dimensioni 8x8 in cui un elemento Xj,i rappresenta un contributo di segnale che il ricevitore riceverebbe se l' i-esimo

Nota 3 - In realtà ogni canale di trasmissione è in generale costituito da una molteplicità di "cammini", ciascuno caratterizzato dal suo proprio ritardo, sfasamento e attenuazione, come discusso nella sezione seguente.

SFN-Scope

trasmettitore fosse l'unico a trasmettere su un canale di trasmissione ideale il segnale relativo al j-esimo simbolo;

- H, che è l'incognita, è un vettore di 8 elementi in cui l'elemento H_i rappresenta la risposta in frequenza del canale di trasmissione relativo all'i-esimo trasmettitore.

Il primo indice n del vettore $H_i(n,k)$ può essere eliminato sotto l'ipotesi che il canale non vari nel tempo (ricezione fissa).

Il sistema lineare $\underline{Y} = \underline{X} \cdot \underline{H}$ ammette univocamente soluzione, a patto che il determinante della matrice $\underline{X}$ sia diverso da zero.

Una volta risolto il suddetto sistema lineare, si ottengono le risposte in frequenza di ciascuno degli N canali di trasmissione relativi a ciascun trasmettitore; il *modulo* di ciascuna risposta in frequenza rappresenta il livello, normalizzato rispetto al segnale più forte, a cui è ricevuto quel trasmettitore. Il risultato parziale di questo algoritmo è quindi una lista che riporta i livelli individuali di segnale ricevuto (con valori normalizzati a 1, o, meglio, in dB rispetto al segnale principale), ciascun livello individuale essendo associato al proprio trasmettitore per mezzo del rispettivo identificativo.

Il sistema lineare così come riportato sopra è di otto equazioni in otto incognite. Quindi risolvendo tale sistema si possono identificare, tramite il rispettivo identificativo, fino ad un massimo di otto trasmettitori che insistono sul punto geografico scelto.

Questo valore può essere esteso facendo partecipare al sistema di equazioni altri segnali ricevuti, in primis i simboli delle trame che veicolano gli altri otto bit dei sedici di cui è composto il codice identificativo di ogni trasmettitore; inoltre, o in alternativa, i simboli S48-S67 delle relative trame. In questo modo è possibile estendere il numero di equazioni e quindi di incognite.

Le operazioni descritte vengono eseguite sulle sole portanti TPS, quindi sui soli valori dell'indice k che appartengono all'insieme di dette portanti. In linea di principio, dato che in un simbolo OFDM DVB-T tutte le portanti TPS sono modulate con il medesimo bit, sarebbe possibile utilizzare anche una sola portante, quindi un solo valore dell'indice k, per applicare il metodo. Tuttavia, come spiegato nella sezione seguente, è possibile ed utile ripetere il procedimento per più di un valore dell'indice k (in pratica: per tutte e 68 le posizioni in frequenza[Nota 4]).

5.2 Ricostruzione delle risposte impulsive individuali: una Mission Impossible?

Nella sezione precedente è stato affermato, semplificando, che *ogni canale di trasmissione ha un suo proprio ritardo, sfasamento e attenuazione*. In realtà ogni canale di trasmissione è in generale costituito da una *molteplicità* di "cammini", ciascuno dei quali caratterizzato dal suo proprio ritardo, sfasamento e attenuazione. In termini analitici:

$$h_i(t) = \sum_p a_p \cdot e^{j\varphi_p} \cdot \delta(t - \tau_p)$$

dove: a_p è l'attenuazione del cammino p-esimo, φ_p è il suo sfasamento, τ_p è il suo ritardo, e $\delta(t)$ è la funzione delta di Dirac.

Una prima importante implicazione è che, per ciascun canale di trasmissione (tratta da trasmettitore i-esimo a ricevitore) la risposta in frequenza H_i del canale non è costante nella frequenza (indice k). Di conseguenza, sebbene il segnale trasmesso $X_i(n,k)$ in un certo simbolo n da un certo trasmettitore i sia stato trasmesso (così come previsto dallo standard ETS300744) identico in tutte le posizioni in frequenza k, il relativo segnale ricevuto $Y_i(n,k)$ risulta diverso nelle varie posizioni in frequenza k, a causa della moltiplicazione per $H_i(k)$, non costante su k. E' questo il motivo per cui non è una scelta oculata quella di stimare i livelli dei trasmettitori basandosi su una sola TPS. Si è quindi deciso di calcolare la media su k dei risultati ottenuti su tutte le TPS: in questo modo si riesce ad avere la stima di livello al netto dell'effetto del *multipath* selettivo, cancellandone l'effetto. Inoltre aumenta la già alta robustezza della stima in presenza di rumore. Ovviamente il prezzo di ciò è il dover risolvere 68 sistemi lineari anziché uno solo.

Nota 4 - 68 nel caso 8k-FFT; 17 nel caso 2k-FFT

I risultati ottenuti dai 68 sistemi lineari hanno poi un ulteriore prezioso contenuto informativo: essi sono le N risposte in frequenza $H_i(k)$. Purtroppo ciascuna di queste risposte in frequenza è incompleta: infatti non è nota su tutti i valori di frequenza k, ma solo su quelli appartenenti alle TPS. Si tratta dunque di un sottocampionamento in frequenza, non periodico. Cionondimeno, ciascuna di queste $H_i(k)$ contiene, sebbene sottocampionate, le informazioni del canale propagativo i-esimo, con i suoi peculiari cammini multipli.

Sarebbe quindi interessante e utile, al fine di approfondire l'analisi del segnale ricevuto, riuscire a ricostruire le risposte impulsive individuali, a partire dalle risposte in frequenza $H_i(k)$. Il passaggio dalla risposta in frequenza del canale, $H()$, alla risposta all'impulso, h(t), è notoriamente ottenibile tramite antitrasformata di Fourier. Tuttavia nel nostro caso il numero delle portanti TPS, e dunque delle posizioni in frequenza k su cui è accessibile l'informazione della risposta in frequenza, è piuttosto esiguo: solo 68 portanti per il modo 8k, cioè circa l'1% delle 6817 portanti attive totali. Stimare le risposte in frequenza complete $H_i(k)$ per tutti i valori di k usando, ad esempio, un filtro interpolatore sarebbe possibile, ma arduo, dato il basso numero di campioni a disposizione. A prima vista potrebbe poi sembrare che il risultato sia pesantemente affetto da aliasing, rendendo la stima così ottenuta praticamente inutilizzabile. *Mission impossibile*, dunque?

A ben vedere, il carattere "pseudo casuale" della distribuzione delle portanti TPS rende la situazione molto diversa da quella dei classici problemi di elaborazione numerica dei segnali, in cui il campionamento è periodico (e il sottocampionamento produce aliasing). Non essendoci alcuna periodicità nella griglia "di campionamento" delle TPS, l'aliasing è praticamente assente. E' possibile quindi effettuare una ricostruzione dei segnali a partire da un tale insieme di campioni (benché, comunque, molto limitato): questa proprietà è utilizzata nelle applicazioni cosiddette "*Compressive Sensing*": un tipico campo applicativo è quello del medical imaging (TAC, NMR, ecc) in cui è desiderabile ottenere immagini tomografiche a partire dal minor numero possibile di acquisizioni[Nota 5].

Per ricostruire le risposte impulsive individuali è stato sviluppato un metodo iterativo in cui partendo da ciascuna risposta in frequenza $H_i(k)$ ne vengono progressivamente estratte e ricostruite, tramite anti-trasformata di Fourier, le componenti temporali principali. Ogni componente temporale viene mimata da una "funzione base", che può essere la Delta di Dirac, la funzione Sinc, una funzione porta di dimensione a piacere, e così via. A seguito dell'estrazione progressiva delle componenti temporali principali, si viene a delineare la risposta all'impulso individuale cercata. Agendo su alcuni parametri, come il numero di iterazioni, il tipo di funzione base, e la dimensione della funzione base, è possibile operare un compromesso tra il riuscire ad estrarre componenti di basso livello, e la comparsa di artefatti. Questi ultimi sono facilmente individuabili per confronto diretto con la risposta all'impulso globale, la quale, essendo calcolata a partire da un consistente set di campioni, non risente di questo problema.

Nota 5 - Lo scopo è ridurre l'esposizione del paziente, e ridurre il tempo in cui è richiesto che il paziente stia immobile.

In figura 4 è riassunto il procedimento. Nei simboli che veicolano le TPS contenenti il *Cell-id*, i vettori complessi vengono acquisiti, in ciascuna delle 68 posizioni in frequenza relative alle TPS. Per ciascuna di tali posizioni in frequenza si raccolgono così 8 o 16 variabili complesse di ingresso, e si risolve il relativo sistema lineare. Le soluzioni dei sistemi lineari costituiscono le risposte in frequenza individuali per ogni "canale", ma sotto campionate. Da queste, per ulteriore processamento:

1) mediando il modulo dei campioni in frequenza, otteniamo i *livelli individuali dei segnali provenienti da ciascun trasmettitore*;

2) tramite un procedimento iterativo di IFFT ed estrazione di componenti, otteniamo una *stima della risposta impulsiva individuale dei segnali provenienti da ciascun trasmettitore*

Il sistema di identificazione che utilizza il metodo sopra descritto è costituito da un *front-end* in grado di ricevere il segnale dall'antenna, e una sezione di elaborazione e presentazione dei risultati. Il *front-end* può essere un qualunque ricevitore DVB-T che sia in grado di ricevere, con adeguate prestazioni, il segnale alla frequenza desiderata, acquisire in tempo reale un brano del segnale (super trama DVB-T), elaborare, anche in differita, il segnale OFDM e fornire i vettori complessi di banda base relativi alle TPS dei simboli della super-trama. E'anche opportuno che il front-end fornisca la risposta all'impulso globale. Tutti i ricevitori di misura DVB-T eseguono questo tipo di stima. In alternativa, può essere utilizzata la risposta in frequenza del canale.

La sezione di elaborazione/presentazione non ha particolari requisiti di velocità, e può opportunamente essere implementata in software.

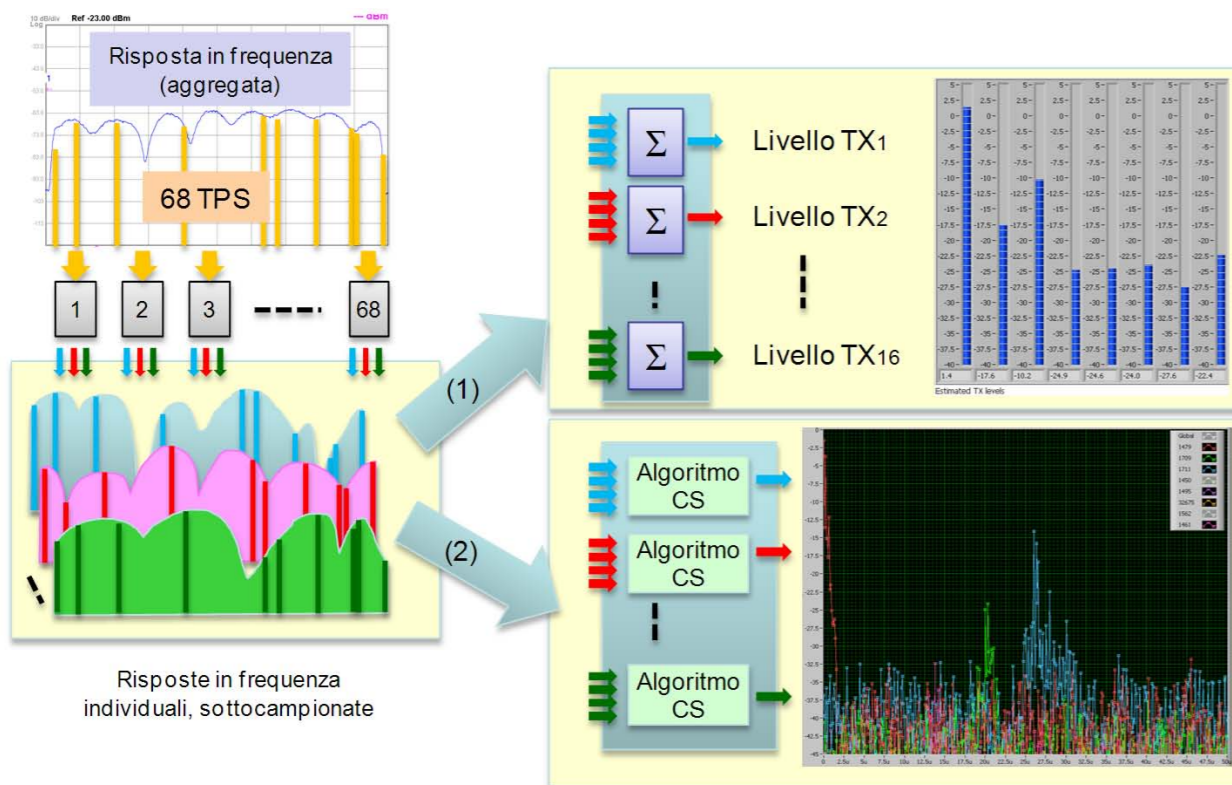



Fig. 4 - (Sinistra) Utilizzando la tecnica MISO (68 sistemi di equazioni lineari) viene disaggregata la Risposta in Frequenza globale in un set di Risposte in Frequenza individuali (8 oppure 16).
(Destra, 1) mediando in frequenza ogni Risposta in Frequenza individuale si ottengono i livelli normalizzati di ciascun trasmettitore.
(Destra, 2) separazione e ricostruzione delle risposte impulsive individuali

6. Il dimostratore SFN-scope

Presso Rai-CRIT è stato implementato in un dimostratore (figura 5) che utilizza come *front-end* un analizzatore di segnali vettoriali Agilent MXA N9020A con opzione DVB-T. I vettori e la risposta all'impulso globale vengono trasferiti tramite interfaccia LAN ad un personal computer su cui è stata realizzata in software la sezione di elaborazione e presentazione dei risultati.

Il software *SFN-scope* è stato sviluppato in ambiente LabView e permette di:

- Acquisire i vettori complessi e la risposta all'impulso globale dal front-end
- Salvare/caricare da disco vettori complessi e risposta all'impulso globale
- Editare la matrice dei trasmettitori in servizio sull'area, attingendo da un database di codici dei siti (fornita da RaiWay)
- Calcolare livelli e risposte all'impulso individuali, presentando i risultati in forma grafica. E'possibile scegliere il numero di iterazioni per l'algoritmo.
- Inoltre è presente una funzione di ricerca automatica del nominativo del trasmettitore, che, entro certi limiti, permette di individuare un trasmettitore non inserito nella matrice.

Fig. 5 - Struttura del dimostratore

6.1 Test di laboratorio

Il dimostratore *SFN-scope* è stato inizialmente collaudato utilizzando un segnale DVB-T SFN sintetico, ottenuto sommando otto diversi segnali DVB-T in banda base, ciascuno con ritardo, modulo e fase arbitrari, e relativi cammini multipli. Verificato il corretto funzionamento con segnale "simulato", il sistema è stato provato il laboratorio, con un segnale a radiofrequenza ottenuto su banco combinando due modulatori DVB-T ciascuno con il proprio *Cell-id.*

Variando il livello relativo, il ritardo e l'offset di frequenza del secondo modulatore è stato possibile riprodurre in modo controllato semplici configurazioni di rete SFN a due trasmettitori.

A titolo di esempio, in figura 6 è riportato il risultato della configurazione in cui il primo trasmettere è configurato con *Cell-id*=1479 (Torino Eremo), e il secondo con *Cell-id*=1458 (Moncalieri). Il secondo segnale è regolato per un livello di -23dB, ritardo 10µs, e offset di frequenza 1Hz rispetto al primo.

Come si può vedere, la risposta all'impulso globale ("Global", curva bianca) ottenuta direttamente dall'analizzatore Agilent MXA indica la presenza di un picco principale (0µs, 0dB), e un secondo picco a 10µs, livello -23dB relativo al primo segnale. La matrice dei trasmettitori è stata compilata con una lista di *Cell-id* tra cui i due che sappiamo essere presenti: Torino Eremo e Moncalieri.

Il sistema *SFN-scope* evidenzia correttamente la presenza di Torino Eremo (curva rossa) a 0µs, 0dB e Moncalieri (curva verde) a 10µs, -23dB.

La stima ottenuta in questo test è praticamente ottimale, coincide in modo perfetto con la misura ottenuta dall'analizzatore MXA, che è uno strumento di elevate prestazioni. Analoghe prove hanno permesso di constatare che il sistema è in grado di evidenziare e distinguere segnali con ritardi fino a due volte l'intervallo di guardia, a prezzo di una certa riduzione del margine sul rumore.

Per contro, si è constatato che in presenza di fluttuazioni di frequenza reciproche tra i trasmettitori, il responso del sistema può degradare. Questo è facilmente spiegabile per il fatto che i "canali di trasmissione" non sono più stazionari: l'ipotesi che il canale non vari nel tempo (ricezione fissa), per cui il primo indice n del vettore $H_i(n,k)$ possa essere eliminato non è più vera. Il risultato è una sorta di interferenza tra le varie risposte all'impulso (cross-talk). Il criterio di stazionarietà, ai nostri fini, è che l'offset di frequenza del i-esimo trasmettitore sia limitato in modo tale da accumulare uno sfasamento trascurabile nel lasso di tempo in cui vengono raccolti i simboli OFDM relativi alle TPS da utilizzare (es. S40-S47, per il sistema lineare 8x8). L'ordine di grandezza che ne risulta è di qualche Hz, compatibile con i valori topici di una rete SFN.

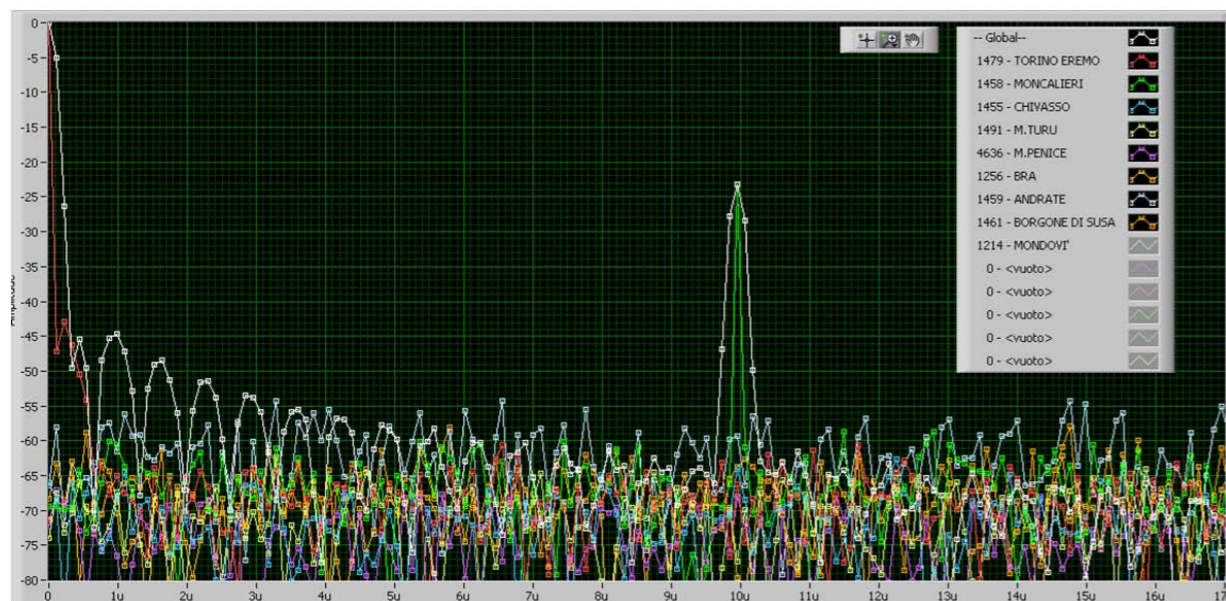



Fig. 6 - Primo test di misura

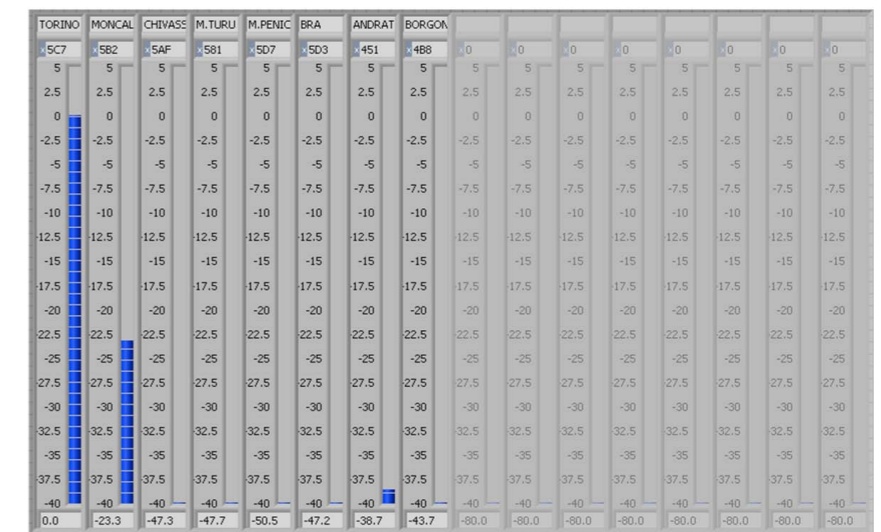



Fig. 7 - Livelli stimati relativi al primo test di misura

Nella prova di cui sopra, i livelli stimati sono quelli riportati in figura 7, in ottimo accordo con i risultati precedenti.

In un secondo test i due modulatori sono stati configurati con identificativi *non* appartenenti alla lista della matrice: *Cell-id*=0, e il secondo con *Cell-id*=4179. Il secondo segnale è regolato per un livello di -5dB, ritardo 230µs, offset di frequenza 0Hz. Il risultato è visibile in figura 8.

Come si può constatare, nella posizione del picco principale (0µs, 0dB) è presente un fortissimo cross-talk da parte di tutti i segnali presenti: tutti i *Cell-id* risulterebbero presenti.

Questo test è la riprova che è *essenziale* che nella matrice compaiano *tutti* i *Cell-id* dei segnali ricevuti. Per contro, la presenza nella matrice di *Cell-id* estranei non altera il responso, fatta salva la condizione di indipendenza lineare dei vettori modulati.

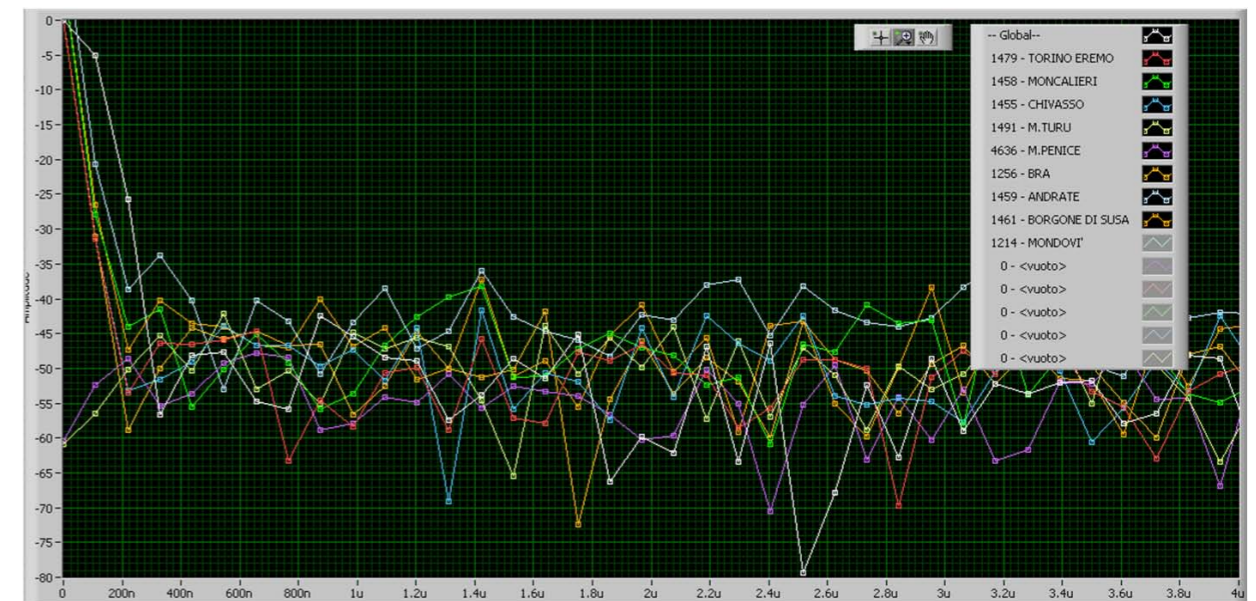



Fig. 8 - Secondo test di misura

6.2 Test con segnale ricevuto via etere

Il dimostratore *SFN-scope* è stato quindi collaudato ricevendo il segnale DVB-T SFN presente in area, proveniente da un'antenna poco direttiva posizionata sul terrazzo del Centro Ricerche (zona Torino sud), con puntamento NE. Il canale sintonizzato è il ch.30 UHF (Rai, Mux2). La matrice è stata compilata con una lista di trasmettitori potenzialmente ricevibili in zona. In figura 9 è visibile il risultato fornito da *SFN-scope*, nell'intervallo di ritardi 0-50µs.

Il tracciato globale, ottenuto direttamente dall'analizzatore MXA (curva bianca) evidenzia:

- segnale principale a 0µs,
- picco a 1µs, -16dB
- altri picchi a 3-9µs, -35 ... -45dB
- picco a 30µs, -16dB
- altri picchi a 30.5-40µs, -17 … -45dB

Viene stimato bene il segnale dal trasmettitore principale, che è infatti quello di Torino Eremo (curva rossa) e il suo eco naturale a 1µs.

Vengono riconosciuti il trasmettitore di Moncalieri e i suoi echi naturali (30µs e seguenti, traccia verde).

MXA evidenzia un ulteriore segnale (due picchi) a 113.5µs, -35dB (in figura 10 uno zoom tra 105µs e 125µs con la traccia di Eremo spenta). Questo segnale viene riconosciuto correttamente come quello di Chivasso (traccia blu).

MXA evidenzia altri segnali a 128µs circa, -23dB (in figura 11 uno zoom tra 120µs e 150µs con la traccia di Moncalieri anch'essa spenta). Si rileva che tale gruppo di picchi sono attribuibili alla traccia gialla (Monte Turu) con i suoi echi naturali.

Effettuando uno zoom tra 210µs e 240µs (figura 12) si osserva che MXA evidenzia altri segnali a 214µs, -51dB e 223µs circa, -43dB. Il segnale a 214µs (teoricamente Penice) è a un livello estremamente basso, -51dB, e non viene riconosciuto; la traccia Borgone è stata spenta perché qui ne risultava un crosstalk. Si individua che il gruppo di picchi a 223µs è (correttamente) attribuito a Bra (traccia arancione)

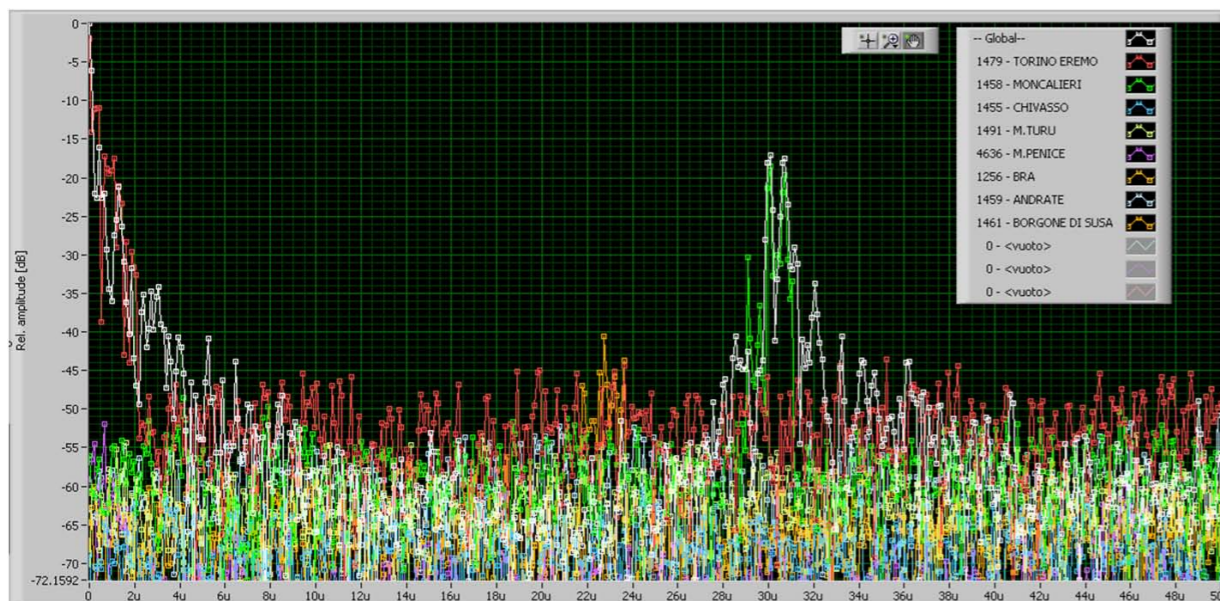



Fig. 9 - Tracciato 0µs - 50µs

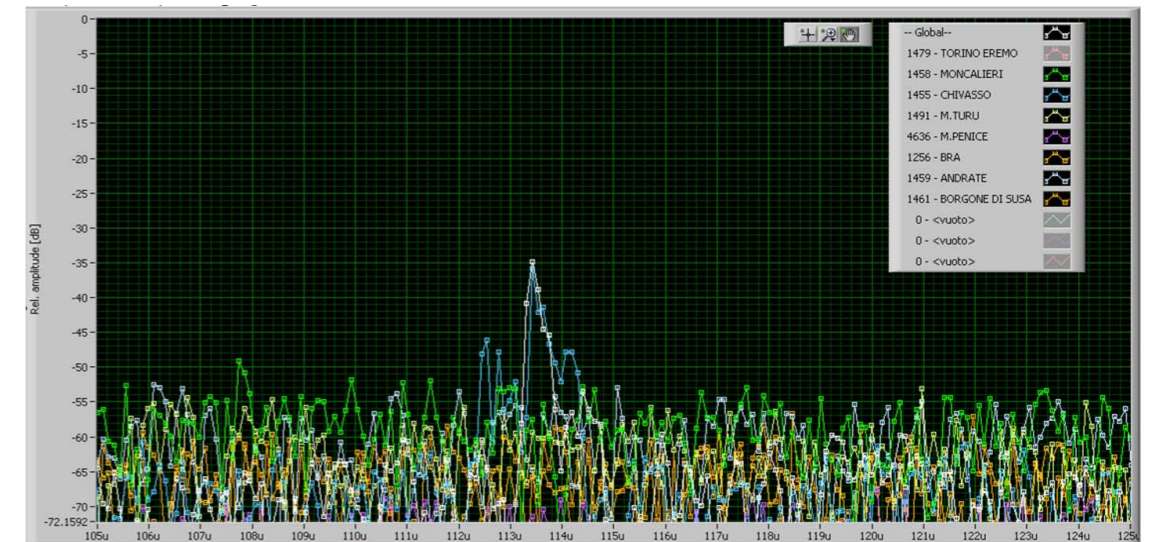



Fig. 10 - Zoom 105µs - 125µs

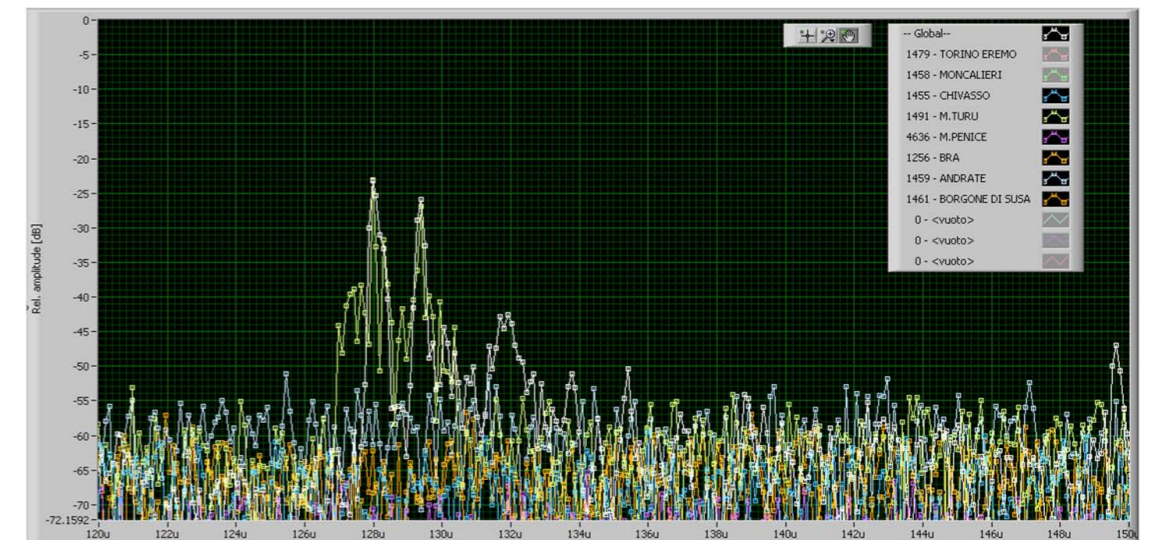



Fig. 11 - Zoom 120µs - 150µs

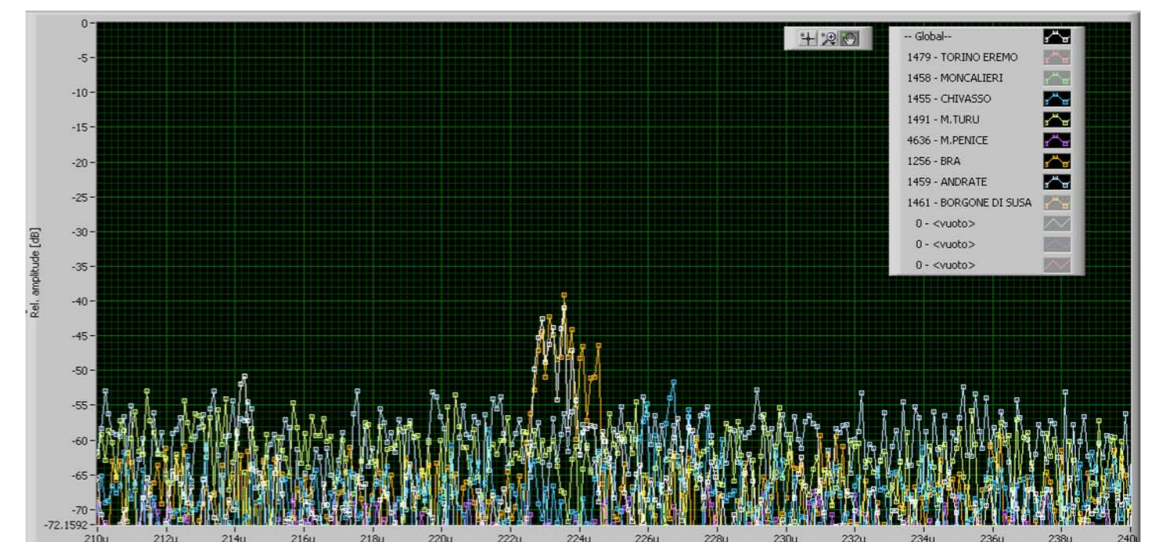



Fig. 12- Zoom 210µs - 240µs

SFN-Scope

7. Prestazioni

Il sistema *SFN-Scope* ha dimostrato una sostanziale buona performance, per segnali il cui livello sia al di sopra di una certa soglia il cui livello potrebbe essere individuato tra -40dB e -50dB rispetto al segnale principale. La tabella 3 riassume i risultati; la colonna azzurra riporta la previsione dei segnali e ritardi che potrebbero essere ricevibili nel punto geografico di Rai-CRIT, secondo il software di previsione di copertura di RaiWay.

Per quanto riguarda i tempi di elaborazione, il dimostratore *SFN-Scope* ha dimostrato ottime prestazioni: in esecuzione su un PC con CPU QuadCore a 2GHz, il responso richiede circa un decimo di secondo, quindi è possibile usare PC meno performanti. La velocità del front-end invece può fare la differenza: lo strumento MXA, che esegue la demodulazione OFDM via software, richiede circa 20 secondi per processare una trama DVB-T. Dato che per elaborare un *Cell-id* completo (16bit) servono una trama pari e una dispari, il tempo netto richiesto con l'MXA è di una quarantina di secondi. Ovviamente l'MXA esegue molte operazioni di demodulazione e equalizzazione che non sarebbero necessarie, quindi questi tempi, benché accettabili, potrebbero essere ridotti. Un front-end hardware potrebbe permettere tempi di pochi decimi di secondo. Ciò è fattibile, ad esempio, integrando l'algoritmo in uno degli strumenti di misura DVB-T attualmente disponibili in commercio.

SFN-scope ha dimostrato nelle prove su banco di poter riconoscere segnali ritardati fino a due volte l'intervallo di guardia, sempreché di livello sufficiente.

Una criticità del sistema è la coerenza interna del segnale SFN: se uno o più trasmettitori della rete sono affetti da eccessivo offset di frequenza (anche a causa di un'avaria della sincronizzazione GPS), il segnale SFN ha un tempo di coerenza ridotto, e può aumentare il cross-talk tra i segnali. In questo caso è opportuno limitare la matrice a soli otto trasmettitori, affinché l'algoritmo lavori su una sola trama DVB-T.

Nome sito	*Cell_id*	Previsione (RaiWay)	SFN-scope		
		Ritardo [µs]	Ritardo, [µs]	Livello [dB]	*Cell_id* individuato?
Eremo	1479	0	0	0	si
Moncalieri	1458	32.5	30.0	-17	si
Chivasso	1455	115.5	113.5	-35	si
MonteTuru	1491	128.6	128.0	-23	si
Penice	4636	214.5	214.0	-51	no
Bra	1256	225	223	-41	si
Andrate	1459	151.9	--	--	
Borgone	1461	167.8	--	--	
Mondovi	1214	400	--	--	

Tab. 3 - Tabella riassuntiva

8. Conclusioni

Il metodo proposto, che permette di identificare la provenienza dei segnali generati dai diversi trasmettitori di una rete isofrequenziale DVB-T è di grande utilità specialmente in paesi come l'Italia dove le reti SFN DVB-T sono di estensione nazionale. Il metodo è implementabile all'interno dei ricevitori di misura; i test eseguiti sul dimostratore *SFN-Scope* hanno dimostrato la validità del metodo, ed ottime prestazioni.

La recente circolare del Ministero dello Sviluppo Economico [5] con la richiesta agli operatori di rete DVB-T SFN nazionali di inserire i codici *Cell-id* nei relativi impianti è un passo che, suggellando la scelta RaiWay dell'adozione dei codici *Cell-id* sui propri impianti, spiana la strada all'utilizzo del sistema *SFN-Scope*.

Il metodo è stato brevettato dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica RAI [6, 7], e ha costituito parte del contributo italiano (RaiWay) allo Study Group ITU [8].

Ringraziamenti

Desidero ringraziare i colleghi del Centro Ricerche Vittoria Mignone, per il prezioso aiuto sulla teoria dei sistemi MIMO e l'incoraggiamento, Andrea Bertella e Mirto Tabone per l'assistenza alla preparazione dei test, Paola Sunna per le illuminanti spiegazioni sui sistemi *compressive sensing*, e inoltre Giuseppe Savoia, *Signal Analysis and Generation Specialist* della Agilent, per l'assistenza nell'interfacciamento dell'analizzatore MXA.

Bibliografia

[1] ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television

[2] ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06), Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization

[3] ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Mimo

[5] *Richiesta inserimento Cell-Id*, Circolare MiSE 14/3/2013

[6] *Metodo e ricevitore per l'identificazione di trasmettitori di segnali radiotelevisivi digitali terrestri.* Brevetto industriale TO2011A000538.

[7] *Metodo per la stima di una risposta all'impulso di un canale relativo a singoli trasmettitori di segnali radiotelevisivi digitali terrestri in una rete a singola frequenza, e relativo apparato.* Brevetto industriale TO2013A000342.

[8] *Transmitters identification in a DVB-T SFN: the Italian experience,* Contributo RaiWay all'ITU Radiocommunication Study Group 1C/66-E

A cura della Redazione

Progetto ATLAS

Piattaforma per la traduzione automatica nella lingua dei segni

ATLAS (Automatic Translation into Sign Language) è un progetto cofinanziato, nato nell'ambito del *Bando Regione Piemonte - Converging Technologies 2007 - Cognitive Sciences - ICT*, finalizzato allo sviluppo di un sistema innovativo di traduzione automatica dalla lingua italiana scritta alla lingua dei segni italiana (LIS).

La piattaforma ATLAS è costituita da moduli indipendenti e asincroni che consentono di accettare in ingresso differenti tipologie di contenuti sorgente quali video, pagine Televideo, sottotitoli, contenuti web, e forniscono in uscita la loro traduzione nella Lingua dei Segni Italiana (LIS).

La traduzione viene visualizzata tramite un attore virtuale animato in computer grafica 3D ed è fruibile su differenti tipologie di terminali utente: Decoder DTT, Personal Computer, iPad, SmartPhone.

Attualmente, terminata la fase prototipale, è iniziato il periodo di esplorazione di possibili applicazioni dei risultati del progetto di ricerca fortemente orientate a nuovi servizi rivolti al pubblico.

Il team di ricercatori ha attivato un processo di analisi per l'estensione a nuovi domini tematici, allo scopo di fornire linee guida che definiscano un processo e nuove metodologie produttive per l'estensione ai nuovi domini della piattaforma ATLAS.

I nuovi servizi proposti saranno valutati a fronte di un processo di analisi sulle implicazioni sia tecniche sia socio-culturali condivise con le parti coinvolte, mantenendo chiara la posizione che i nuovi servizi devono assumere a fronte di forti sinergie tra RAI e tutti gli attori coinvolti, come l'ENS (Ente Nazionale Sordi), le Associazioni di Interpreti LIS e non ultimi gli utenti Sordi, in modo da costituire un unico gruppo di lavoro che tuteli e garantisca tutte la parti coinvolte.

La piattaforma ATLAS

La Piattaforma ATLAS fornisce la traduzione in Lingua dei Segni mediante un interprete virtuale di differenti tipologie di contenuti sorgente (pagine Teletext, sottotitoli, pagine web, contenuti audio/video).

Una delle attività di competenza del Centro Ricerche Rai è la realizzazione dei moduli di ingestion, componenti software che, per ogni tipologia di sorgente, in maniera automatica o semi-automatica, estraggono i contenuti sorgente e li elaborano al fine di generare dei testi compatibili con la piattaforma.

I testi in lingua italiana, prodotti dai sistemi di ingestion vengono processati da due traduttori automatici: un traduttore statistico ed uno basato su regole (Rule-Based). Il primo fornisce la traduzione in lingua dei segni dopo una fase preliminare di "apprendimento" in cui si fornisce al modulo una grande quantità di testi in lingua italiana e nella lingua di destinazione, a seguito della quale vengono implementati complessi algoritmi e tecniche di apprendimento su base statistica per costruire il modello di traduzione. Il traduttore rule-based, invece, fornisce la traduzione in LIS di un testo in italiano sulla base di specifiche regole linguistiche che coinvolgono le strutture grammaticali, morfologiche, sintattiche e lessicali delle due lingue.

L'output dei due traduttori è un testo scritto in un metalinguaggio definito all'interno del progetto denominato AEWLIS (ATLAS Extended Written LIS) e contiene la sequenza dei segni che l'interprete virtuale deve riprodurre e tutte le informazioni propedeutiche all'animazione (espressioni facciali, collocazione spaziale e ampiezza dei segni, modificatori dei segni etc).

Il testo in AEWLIS rappresenta l'input da fornire al modulo responsabile della generazione dell'animazione dell'interprete virtuale. Attraverso un'accurata modellazione in 3D dell'interprete virtuale in computer grafica si è riusciti a coprire in modo esaustivo tutto il dominio dei segni LIS. Sono generati con grande accuratezza, oltre ai movimenti delle dita, mani, braccia e busto, anche le espressioni facciali che rappresentano un elemento di fondamentale importanza per la lingua dei segni in quanto conferiscono grande espressività alla comunicazione.

I contenuti sorgente, il testo in italiano, il testo in AEWLIS e i comandi per l'interprete virtuale sono memorizzati in un database. I contenuti caricati in esso sono gestiti dal modulo di delivery che presiede alle attività di transcodifica e trasmissione sulle differenti piattaforme di fruizione: decoder digitale DTT, web, dispositivi mobili e supporti fisici come DVD.

L'accesso alle risorse

Oltre alla realizzazione della Piattaforma ATLAS sono stati sviluppati vari sistemi di accesso che consentono agli utenti di fruire dei contenuti tradotti e interagire con la tecnologia ATLAS: Service Portal e LIS Player. Il Service Portal è un sito web in cui l'utente può visualizzare la lista dei contenuti tradotti dalla piattaforma ATLAS suddivisi per tipologia (TV, Sottotitoli, Teletext, Web), selezionare uno specifico contenuto e visionare il filmato relativo alla traduzione in LIS.

Una ulteriore applicazione web consente all'utente di visualizzare i singoli segni LIS o richiedere la traduzione di una frase inserita; la traduzione segnata dall'attore virtuale viene visualizzata direttamente nella pagina web.

Per saperne di più

Il Centro Ricerche ospite a GeoScienza "La traduzione automatica nella lingua dei segni italiana" **(puntata dell'18/03/2013)**

M. Rossini, C. Marino, A. Del Principe, M. Visintin, R. Borgotallo: Progetto ATLAS - Traduzione Automatica dall'italiano alla lingua dei segni italiana, Elettronica e Telecomunicazioni, Dicembre 2011

A. Morello, P. Prinetto: ATLAS: traduzione automatica nella Lingua dei Segni, Elettronica e Telecomunicazioni, Dicembre 2010

P. Prinetto, A. Del Principe, C. Marino, M. Rossini, M. Visintin: Il Progetto Atlas, Elettronica e Telecomunicazioni, Agosto 2009

Il sito web del Progetto ATLAS: www.atlas.polito.it

A cura della Redazione

IBC Special Award 2013

A motivo della sua ampia collaborazione e dei notevoli risultati pratici ottenuti nell'ambito dei media e del broadcasting, lo scorso settembre IBC ha consegnato al progetto Vision Cloud lo ***Special Award 2013***, ora conservato presso il CRIT.

Comunicando le motivazioni del premio, Michael Crimp, CEO di IBC, ha detto, "La cosa che più ha impressionato i giudici di VISION Cloud è l'ampiezza della collaborazione, da istituzioni accademiche ad aziende IT di primo piano. Hanno lavorato insieme per fornire una pratica e reale innovazione nel settore dei media. Il programma dei premi IBC celebra partenariati che lavorano insieme per risolvere le sfide creative, organizzative e commerciali, ed è chiaro che VISION Cloud soddisfa questo alto ideale. Congratulazioni a tutti i soggetti coinvolti."

Il progetto VISION Cloud, operante tra il 2010 e il 2013 nell'ambito del settimo Programma Quadro di ricerca e innovazione della Commissione europea, ha riunito in un unico consorzio, coordinato da Haifa Research Lab di IBM, utenti, fornitori di tecnologie ed enti accademici per sviluppare le tecnologie fondamentali per l'utilizzo per applicazioni di media e broadcasting dei servizi di storage cloud.

Una storage cloud può essere definita come un sistema distribuito di capacità di memorizzazione e di moduli software (risorse) che collaborano a formare una piattaforma di uso generale, per lo più virtualizzata e decentrata, per la memorizzazione a tempo indeterminato dei dati.

Estendendo il concetto di storage cloud allo specifico caso di utilizzo di media e broadcasting, si perviene al concetto di media cloud, cioè una storage cloud con lo scopo specifico di memorizzare a tempo indeterminato contenuti multimediali, e con essi le procedure atte a realizzare i processi tipi della produzione e archiviazione multimediale.

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica ha rappresentato RAI in VISION Cloud con il ruolo di leadership dell'attività di sperimentazione in ambito media e broadcasting. Il CRIT ha contribuito attivamente alla definizione dei requisiti della piattaforma, al progetto e realizzazione di alcune delle tecnologie di base, e allo sviluppo di un prototipo end-to-end per la dimostrazione delle tecnologie sviluppate a IBC 2013. A tal fine CRIT ha progettato e sviluppato un middleware generico per la gestione dei contenuti multimediali su piattaforme di storage cloud.

Il CRIT al PRIX Italia 2013

Proseguendo una lunga tradizione, il CRIT ha partecipato all'edizione 2013 del **Prix Italia**, il premio internazionale promosso da Rai che vede la partecipazione dei principali player del mercato radio televisivo internazionale, alla sua 65esima edizione. La settimana di conferenze, presentazioni, proiezioni e dibattiti si è tenuta a Torino dal 21 al 26 settembre 2013.

Come già nelle precedenti, anche nell'edizione 2013 del Prix è stata allestita una **Vetrina Tecnologica** ospitata presso i locali dell'Università di Torino in via Po, ove la Direzione Strategie Tecnologiche con il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica ha presentato al pubblico una selezione di prototipi e dimostrazioni relativi ai più recenti sviluppi tecnologici nel campo di TV, Radio e Multimedia.

Partendo dalle più avanzate tecnologie riguardanti i formati televisivi "***oltre l'Alta Definizione***", è stato possibile ammirare su monitor di grandi dimensioni (84 pollici) le immagini riprese in formato ***4K*** ed anche in ***3D***, oltre ad un'anteprima delle prestazioni del nuovo sistema di codifica delle immagini ***HEVC*** (High Efficiency Video Coding).

È stata offerta una panoramica sui servizi destinati ai ***Connected-TV***, quali il servizio interattivo ***"Telecomando RAI"*** di recente attivazione e il nuovo ***"portale RaiSport"***, che permette di accedere comodamente dal televisore a contenuti on-demand relativi ad eventi sportivi (video, foto e notizie e alle rubriche TG Sport).

Nell'ambito dei servizi a sostegno delle disabilità è stato mostrato il prototipo del sistema per la traduzione automatica nella lingua italiana dei segni sviluppato all'interno del progetto ***ATLAS*** e si è tenuta una presentazione relativa ai risultati ottenuti nell'ambito del progetto ***HEAD*** (*Human Empowerment Aging and Disability*).

Nel campo della cross-medialità è stata presentata la piattaforma prototipale ***MeSOOnTV***, sviluppata in collaborazione con l'Università di Torino, che permette di studiare la *"seconda vita del contenuto TV"* attraverso l'analisi incrociata di fonti dati eterogenee come TV, social media platforms (YouTube) e social networks (Twitter).

Sono state mostrate al pubblico le novità introdotte dallo standard digitale terrestre di seconda generazione ***DVB-T2***, arricchito con il profilo denominato ***T2-Lite***, che permette la trasmissione contemporanea sulla stessa frequenza di servizi HDTV destinati a televisori e servizi rivolti a terminali mobili, una sperimentazione già effettuata con successo in Valle d'Aosta.

Nel settore delle attività di produzione e archiviazione audiovisiva sono stati presentati il ***sistema virtualizzato e distribuito di servizi di memorizzazione*** (Storage Cloud) realizzato nell'ambito del progetto europeo ***Vision Cloud***, l'evoluzione della piattaforma ***Rai-Newsbook***, sviluppata dal Centro Ricerche in collaborazione con le Teche Rai, che offre servizi integrati per la fruizione multimodale e personalizzata di notizie analizzate e catalogate automaticamente e il sistema ***RightsDraw*** per la gestione informatizzata degli accordi commerciali sui diritti audiovisivi.

Infine sono stati presentati altri dimostratori relativi al mondo della ***radio digitale e ibrida***, applicazioni su dispositivi mobili ***tablet e smartphone*** che permettono di interagire con la programmazione e con la pubblicità televisiva e radiofonica, e, per concludere, ***sistemi evoluti per la ripresa sonora*** basati su array microfonici planari e cilindrici.